

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

EFEITOS ANTRÓPICOS E AMBIENTAIS PARA O DECLÍNIO
POPULACIONAL DOS ANUROS NO MUNDO

Autor: Guilherme Henrique Carrasco

Orientador: Dr.^a Lia Raquel de Souza Santos

RIO VERDE – GO

Agosto de 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

EFEITOS ANTRÓPICOS E AMBIENTAIS PARA O DECLÍNIO
POPULACIONAL DOS ANUROS NO MUNDO

Autor: Guilherme Henrique Carrasco
Orientador: Dr.^a Lia Raquel de Souza Santos

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano –Campus Rio Verde - Área de concentração Conservação dos Recursos Naturais.

RIO VERDE – GO

Agosto de 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CEF27e Carrasco, Guilherme Henrique
Efeitos antrópicos e ambientais para o declínio
populacional dos anuros no mundo. / Guilherme
Henrique Carrasco; orientadora Lia Raquel de Souza
Santos; co-orientadora Maria Andréia Corrêa
Mendonça. -- Rio Verde, 2019.
59 p.

Dissertação (em Biodiversidade E Conservação) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Diminuição de populações. 2. Conservação. 3.
Efeitos antrópicos. 4. Anuros. I. de Souza Santos,
Lia Raquel, orient. II. Corrêa Mendonça, Maria
Andréia , co-orient. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional-Tipo: | _____ |

Nome Completo do Autor: Guilherme Henrique Carrasco

Matrícula: 2017202310840039

Título do Trabalho: EFEITOS ANTRÓPICOS E AMBIENTAIS PARA O DECLÍNIO POPULACIONAL DOS ANUROS NO MUNDO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/11/19

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

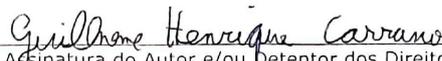
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

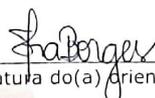
O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 08/10/2019


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) Orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

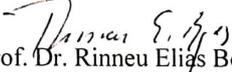
EFEITOS ANTRÓPICOS E AMBIENTAIS PARA O DECLÍNIO
POPULACIONAL DOS ANUROS NO MUNDO

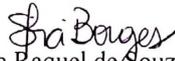
Autor: Guilherme Henrique Carrasco
Orientadora: Lia Raquel de Souza Santos Borges

TITULAÇÃO: Mestre em Biodiversidade e Conservação – Área de
concentração Conservação dos Recursos Naturais.

APROVADA em 30 de agosto de 2019.


Prof. Dr. Fábio Martins Vilar de Carvalho
Avaliador interno
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Rinneu Eliás Borges
Avaliador externo
UniRV


Prof.^a Dr.^a Lia Raquel de Souza Santos Borges
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial a minha família, sobretudo aos meus pais, cujo o apoio foi essencial durante toda a minha vida. Também agradeço a minha orientadora Dr.^a Lia Raquel de Souza Santos, e meu parceiro de pesquisas Ms. Marcelino Benvindo de Souza, sendo que este trabalho não seria possível na ausência de ambos. Também agradeço aos meus pais e aos demais parceiros do Laboratório de Biologia Animal, assim como o Instituto Federal Goiano campus Rio Verde, cuja localização e disponibilidade do curso foram essenciais para realização deste mestrado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Natural da cidade de Olímpia (Estado de São Paulo), filho da Silmara Ramos dos Santos Carrasco e de Edson Carrasco, minha formação acadêmica iniciou com a graduação no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas cursado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano Campus Rio Verde) no ano de 2017, Rio Verde (Goiás), Brasil. Após finalizar a graduação, no mesmo ano já iniciei a formação *Stricto Sensu* na mesma instituição, através do curso de Mestrado em Biodiversidade e Conservação.

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| AGRADECIMENTOS | VI |
| BIOGRAFIA..... | VII |
| ÍNDICE..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABELAS..... | X |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES..... | XI |
| ÍNDICE DE APÊNDICES..... | XII |
| RESUMO GERAL | 01 |
| GENERAL ABSTRACT..... | 03 |
| INTRODUÇÃO | 05 |
| OBJETIVOS..... | 07 |
| CAPÍTULO I: Declínio global de anuros: principais estressores..... | 10 |
| RESUMO..... | 10 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| INTRODUÇÃO..... | 12 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 13 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 15 |
| CONCLUSÃO..... | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |
| CAPÍTULO II: Efeito de múltiplos estressores e declínio populacional de anuros... | 38 |
| RESUMO..... | 38 |
| ABSTRACT..... | 39 |
| INTRODUÇÃO..... | 40 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 41 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 41 |
| CONCLUSÃO..... | 47 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |
| CONCLUSÃO GERAL | 57 |
| APÊNDICE A..... | 59 |

ÍNDICE DE TABELAS

| CAPÍTULO 01 | Página |
|---|--------|
| Tabela 1: Panorama das cinco famílias e espécies mais estudadas para o declínio de anuros no mundo..... | 20 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| CAPÍTULO 01 | |
| Figura 1. Número de artigos publicados sobre o declínio populacional de anuros nos últimos 36 anos (1982 e 2018) | 15 |
| Figura 2. Aspecto geográfico da colaboração científica sobre o declínio de anuros no mundo, apresentados por continentes..... | 16 |
| Figura 3. Natureza de estudos analisando o declínio populacional de anuros no mundo..... | 17 |
| Figura 4: Status da conservação das espécies em estudos de declínio populacional de anuros..... | 19 |
| Figura 5: Porcentagem de contribuição de estudos com cada classe de estressores para o declínio de anuros no mundo, para o número total de citações..... | 21 |
| Figura 6: Porcentagem de Pesticidas classificados conforme suas indicações de aplicações, de acordo com a bula do produto..... | 24 |
| Figura 7: Principais indicadores utilizados nas pesquisas de detecção de declínio de anuros no mundo..... | 27 |
| CAPÍTULO 02 | |
| Figura 1: Número de publicações para efeito sinérgico em anuros (em barras), publicados entre 1995 (publicação mais antiga) e 2018..... | 42 |
| Figura 2: Número de publicações para efeito sinérgico, antagônico e sem efeitos..... | 43 |
| Figura 3: Porcentagem dos estudos (%) sobre as classes de estressores mais estudadas para o declínio mundial de anuros | 44 |
| Figura 4: Padrões de associações entre os principais estressores ambientais..... | 45 |

ÍNDICE DE APÊNDICES

| | |
|-----------------|--------|
| CAPÍTULO 02 | Página |
| APÊNDICE A..... | 59 |

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

| | |
|-------------|--|
| UFG | Universidade Federal de Goiás |
| IUCN | International Union for Conservation of Nature |
| LC | Pouco preocupantes |
| NT | Quase ameaçadas |
| VU | Vulneráveis |
| EN | Em perigo |
| CR | Criticamente em perigo |
| EW | Extintas no ambiente |
| EX | Extintas |
| DD | Deficientes de dados |

RESUMO

Carrasco, Guilherme Henrique. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, agosto de 2019. **Efeitos antrópicos e ambientais para o declínio populacional dos anuros no mundo.**

Autor: Guilherme Henrique Carrasco

Orientador: Dr.^a Lia Raquel de Souza Santos

Os anuros têm sofrido declínio de suas populações no mundo inteiro, este fenômeno foi detectado inicialmente no começo dos anos noventa, desde então diversas pesquisas foram realizadas a respeito do tema. Estas pesquisas demonstram que diversa gama de fatores de estresse (pesticidas, alterações climáticas, alterações de paisagens, dentre outros) estão ligados ao declínio das populações de anuros. Neste sentido, este trabalho buscou conhecer melhor as causas do declínio populacional de anuros, e para isso foram realizados levantamentos sobre dados não só a respeito dos estressores mais estudados, as espécies que estão recebendo maior enfoque nas pesquisas, e quais países estão investindo mais em pesquisas para o grupo. Também foram analisados os efeitos de estressores em conjunto (efeitos interativos) e seus impactos para a anurofauna. A metodologia para a busca dessas informações foi realizada através de pesquisas científicas utilizando três bases de dados distintas (Web of Science, Scopus e Pubmed). Nessas bases de dados foram utilizadas as palavras chaves “*frog, decline*”, como critério de seleção de artigos. A partir daí dados como ano de publicação, nacionalidade do 1º autor, estressor utilizado, espécie estudada foram compilados. Os resultados demonstram que o agente estressor mais ligado ao declínio dos anfíbios é o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD), seguidos de efeitos de ações antrópicas como, os efeitos das aplicações de pesticidas e alterações nas paisagens. Quando se analisou os países que mais publicam sobre o tema, percebe-se que os Estados Unidos lideram o rank, fenômeno explicado pelo fato que as espécies mais estudadas ocorrem no território Norte-Americano. Sobre os efeitos interativos, foi detectado que na maioria dos casos dois ou mais estressores possuem relação de sinérgica entre si, e um potencializará o efeito do outro, de modo que os danos ocasionados pelo conjunto de

estressores serão superiores a soma dos efeitos individuais. Desta forma, este trabalho permitiu concluir que as populações de anfíbios estão em declínio populacional e que ações antrópicas possuem grande impacto sobre as populações de anuros. Além disso, podendo detectar que as pesquisas se concentram em alguns poucos centros de pesquisas (como os EUA), e que infelizmente não correspondem aos países com maior biodiversidade. Apesar da grande quantidade de dados analisados, este trabalho também demonstrou haver ainda grandes lacunas de conhecimento a respeito do tema, e desta forma mais trabalhos são encorajados para melhor direcionar as pesquisas científicas, principalmente para estudos envolvendo elaboração de políticas de conservação.

PALAVRAS-CHAVES: efeitos antrópicos, diminuição de populações, impactos, conservação.

ABSTRACT

Carrasco, Guilherme Henrique. Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus - GO, August 2019. **Anthropic and environmental effects for the anuran population decline in the world.**

Author: Guilherme Henrique Carrasco

Advisor: Dr. Lia Raquel Santos de Souza

Anurans have suffered a decline in their populations worldwide, this phenomenon was initially detected in the early nineties, since then a lot of research has been done on the subject. This research shows that a diverse range of stressors (pesticides, climate change, landscape changes, among others) are linked to declining anuran populations. In this sense, this work sought to better understand the population decline causes, and for this purpose surveys were carried out on data not only on the most studied stressors, the species that are receiving the most research focus, and which countries are most investing in research for their own purposes to the group. We also analyzed the effects of joint stressors (interactive effects) and their impacts on anurans. The methodology for searching this information was carried out through scientometric surveys, using three distinct databases (Web of Science, Scopus and Pubmed). In these databases we used the keywords “*frog, decline*” as the article selection criterion. From then, data such as publication year, first author nationality, stressors used, species studied were compiled. The results demonstrate that the stressors most linked to the amphibians decline is the fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD), followed by anthropogenic effects such as pesticide applications and landscape changes. When we analyze the countries that publish the most on the subject, we notice that the United States leads the rank, a phenomenon that also explains the fact that the most studied species occur in the North American territory. Regarding the interactive effects, it was found that in most cases, two or more stressors have a synergistic relationship with each other, where one will potentiate the effect of the other, while the damage caused by the set of stressors will be greater than the sum of the individual effects. Thus, this work allowed us to conclude that amphibian populations are in population decline and that anthropic actions have a

great impact on anuran populations. In addition, it can be found that research is concentrated in a few research centers (such as the US), and unfortunately does not correspond to countries with greater biodiversity. Despite the large amount of data analyzed, this work has shown that there are still large knowledge gaps on the subject, and thus more similar work is encouraged to better direct scientific research, especially for studies involving conservation policy making.

KEYWORDS: anthropic effects, population decrease, impacts, conservation.

INTRODUÇÃO

As populações de anfíbios anuros vêm sofrendo acentuado declínio populacional desde que foi detectado no início da década de 1990 (BARINAGA, 1990; BLAUSTEIN, 1990; WAKE, 1991). Desde então, inúmeros estudos foram produzidos tentando explicar qual a causa específica deste declínio, e após praticamente três décadas de pesquisa o consenso é que não é um único fator em específico que está sendo responsável pelo declínio, mas sim vários fatores que agem com diferentes impactos em distintas partes do globo.

Este indivíduos pertencentes a classe Amphibia, e a ordem Anura, é representada por organismos que apresentam desenvolvimento indireto (em sua grande maioria), ou seja, apresentando um estágio larval que é estritamente aquática (girino), e uma segunda fase, geralmente terrestre e que possuem variadas características marcantes, como a capacidade de vocalização, produção de peptídios e toxinas, e sobretudo o fato de possuírem uma pele altamente permeável, em virtude de sua respiração se dar principalmente através da pele. Tais características fazem com que os anuros comparados com os demais vertebrados, sejam mais vulneráveis as pressões ambientais (DUELLMAN & TRUEB, 1994, WELLS 2007; CAMPOS et al., 2013)

Desta forma dentre os diferentes estudos para a abordagem declínio de anuros, podem ser citados os fatores nomeados como “esperados”, como fragmentação e destruição de habitats (MARSH, 1997; NAZARETTI, 2015; MOREIRA, 2016), efeito de agrotóxicos e outros poluentes (MORESCO, 2014; COSTA, 2008; PEREZ, 2016), introdução de espécies exóticas (BOELTER, 2012; BOTH, 2012), mudanças climáticas (SIMON, 2015; DE OLIVEIRA, 2016) dentre vários outros fatores. Entretanto, em virtude das especificidades do grupo tem-se que boa parte deste declínio pode ser ligado aos fatores mais específico, como por exemplo o efeito da radiação ultravioleta, a qual os anuros são mais suscetíveis em virtude de sua pele permeável, e pelo fato de seus ovos serem recobertos por apenas uma fina membrana translúcida (SCHUCH, 2015; LIPINSKI, 2016). Outro fator específico para o grupo é com relação a poluição sonora. Ocorrendo por causa do comportamento reprodutivo dos anuros que gira entorno da

vocalização, diversos trabalhos demonstraram que sons antrópicos podem interferir no coro dos anuros (NELSON, 2017), dificultando as formações de parceiros sexuais para a cópula.

Outro fator muito ligado ao declínio, e que também é bem específico do grupo, é a presença do microrganismo *Batrachochytrium dendrobatidis*, fungo responsável pela quitridiomiose, doença fúngica que ataca a pele dos anuros e é responsável por inúmeros prejuízos a estes organismos (BERGER, 1998, 2016; VREDENBURG, 2010; OLSON, 2013).

Assim fica claro a pluralidade de fatores relacionados com o declínio populacional dos anuros, e desta forma este trabalho objetivou primariamente, através de uma análise cienciométrica, ranquear quais os fatores estressores mais estudados e relacionados ao declínio. Dados sobre cada estressor podem ser muito úteis na confecção de planos de manejo ou na criação de reservas que pretendam preservar a anurofauna. Além disso, investigando as tendências temporais de pesquisas, quais países que mais investiram o tema, como também quais espécies e gêneros foram mais comuns nos estudos, assim como quais as classificações da IUCN para elas. Também foram avaliados quais metodologias e marcadores mais utilizados neste tipo de pesquisa.

Desta forma, este trabalho está dividido em dois capítulos: sendo o primeiro dedicado para estressores e marcadores mais utilizados nas pesquisas, assim como a tendência temporal, e em quais países estão localizados os maiores centros de pesquisas. Já o segundo capítulo avaliou os trabalhos que envolveram análises de interação entre estressores, sejam eles sinérgicos ou antagônicos.

OBJETIVOS

O Objetivo geral deste trabalho foi compreender o declínio populacional dos anuros, assim como suas causas, e outras informações importantes que possam ser utilizadas na criação de estratégias de conservação, isto porque são necessários para a confecção de planos de manejo eficientes, conhecimento a respeito do grupo a ser conservado. Especificamente no primeiro capítulo, buscou-se realizar a revisão de toda a produção científica sobre efeito de estressores em anuros, e objetivando (1) descobrir a tendência temporal das pesquisas, assim como quais países mais envolvidos (2). Além disso, investigou-se quais as espécies mais estudadas e seus riscos de extinção (3), quais os estressores (4) e indicadores (marcadores) mais estudados (5). Para o segundo capítulo, os objetivos específicos se resumiram na análise de tendência temporal da produção científica (1), análises dos tipos de efeitos interativos (2), quais estressores (3) e combinação de estressores mais estudados (4).

REFERÊNCIAS

- BARINAGA, M. WHERE HAVE ALL THE FROGGIES GONE. **Science**, v. 247, n. 4946, p. 1033-1034, Mar 1990. ISSN 0036-8075. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1990CQ97300023 >.
- BERGER, L. et al. Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 95, n. 15, p. 9031-9036, Jul 1998. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000075143900110 >.
- BERGER, L. et al. History and recent progress on chytridiomycosis in amphibians. **Fungal Ecology**, v. 19, p. 89-99, Feb 2016. ISSN 1754-5048. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000367483700009 >.
- BLAUSTEIN, A. R.; WAKE, D. B. DECLINING AMPHIBIAN POPULATIONS – A GLOBAL PHENOMENON. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 5, n. 7, p. 203-204, Jul 1990. ISSN 0169-5347. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1990DK61400001 >.
- BOELTER, R. A. et al. Invasive bullfrogs as predators in a Neotropical assemblage: What frog species do they eat? **Animal Biology**, v. 62, n. 4, p. 397-408, 2012. ISSN 1570-7555. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000309901800003 >.
- BOTH, C.; GRANT, T. Biological invasions and the acoustic niche: the effect of bullfrog calls on the acoustic signals of white-banded tree frogs. **Biology Letters**, v. 8, n. 5, p. 714-716, Oct 2012. ISSN 1744-9561. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000308789200008 >.
- CAMPOS, V.A., ODA, F.H., JUEN, L., BARTH, A. & DARTORA, A. Composition and species richness of anuran amphibians in three different habitat in an agrosystem in Central Brazilian Cerrado, **Biota Neotropical**, v. 13(1), 2013.
- COSTA, M. J. et al. Oxidative stress biomarkers and heart function in bullfrog tadpoles exposed to Roundup Original (R). **Ecotoxicology**, v. 17, n. 3, p. 153-163, Apr 2008. ISSN 0963-9292. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000252798400002 >.
- DE OLIVEIRA, I. S.; RODDER, D.; TOLEDO, L. F. Potential worldwide impacts of sea level rise on coastal-lowland anurans. **North-Western Journal of Zoology**, v. 12, n. 1, p. 91-101, Jun 2016. ISSN 1584-9074. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000378415600011 >.
- DUELLMAN, W.E. & TRUEB, L. *Biology of Amphibians*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994.
- LIPINSKI, V. M.; DOS SANTOS, T. G.; SCHUCH, A. P. An UV-sensitive anuran species as an indicator of environmental quality of the Southern Atlantic Rainforest. **Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology**, v. 165, p. 174-181, Dec 2016. ISSN 1011-1344. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000390824700019 >.
- MARSH, D. M.; PEARMAN, P. B. Effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of Leptodactylid frogs in an Andean montane forest. **Conservation Biology**, v. 11, n. 6, p. 1323-1328, Dec 1997. ISSN 0888-8892. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1997YK80600012 >.

- MOREIRA, L. F. B. et al. Effects of exotic pastures on tadpole assemblages in Pantanal floodplains: assessing changes in species composition. **Amphibia-Reptilia**, v. 37, n. 2, p. 179-190, 2016. ISSN 0173-5373. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000375412200004 >.
- MORESCO, R. M.; MARGARIDO, V. P.; DE OLIVEIRA, C. A persistent organic pollutant related with unusual high frequency of hermaphroditism in the neotropical anuran *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826. **Environmental Research**, v. 132, p. 6-11, Jul 2014. ISSN 0013-9351. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000337862300002 >.
- NAZARETTI, E. M.; CONTE, C. E. Anurofauna an altered remnant of Mesophytic Semideciduous Forest the banks of the Paranapanema River. **Iheringia Serie Zoologia**, v. 105, n. 4, p. 420-429, Dec 2015. ISSN 0073-4721. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000372057700006 >.
- NELSON, D. V. et al. Calling at the highway: The spatiotemporal constraint of road noise on Pacific chorus frog communication. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 1, p. 429-440, Jan 2017. ISSN 2045-7758. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000392069500036 >.
- OLSON, D. H. et al. Mapping the Global Emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the Amphibian Chytrid Fungus. **Plos One**, v. 8, n. 2, Feb 2013. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000315519000039 >.
- PEREZ-IGLESIAS, J. M. et al. Effects of glyphosate on hepatic tissue evaluating melanomacrophages and erythrocytes responses in neotropical anuran *Leptodactylus latinasus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 10, p. 9852-9861, May 2016. ISSN 0944-1344. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000376421400056 >.
- SCHUCH, A. P. et al. Molecular and sensory mechanisms to mitigate sunlight-induced DNA damage in treefrog tadpoles. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 19, p. 3059-3067, Oct 2015. ISSN 0022-0949. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000363450300017 >.
- SIMON, M. N.; RIBEIRO, P. L.; NAVAS, C. A. Upper thermal tolerance plasticity in tropical amphibian species from contrasting habitats: Implications for warming impact prediction. **Journal of Thermal Biology**, v. 48, p. 36-44, 2015. ISSN 0306-4565.
- VREDENBURG, V. T. et al. Dynamics of an emerging disease drive large-scale amphibian population extinctions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 21, p. 9689-9694, May 2010. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000278054700040 >.
- WAKE, D. B. DECLINING AMPHIBIAN POPULATIONS. **Science**, v. 253, n. 5022, p. 860-860, Aug 1991. ISSN 0036-8075. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1991GC15200033 >.
- WELLS, K.D. The ecology and behavior of amphibians. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7208/chicago/9780226893334.001.0001>> Acesso em: 13 de Janeiro de 2016.

Declínio global de anuros: principais estressores

Guilherme Henrique Carrasco¹, Marcelino Benvindo de Souza². Lia Raquel de Souza Santos¹

¹Laboratório de Biologia Animal, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, Brasil

²Laboratório de Mutagênese, UFG

Resumo: Neste trabalho, foram revisadas três bases de dados, Web of Science, Scopus e Pubmed para buscar os principais estressores relacionados ao declínio de anuros no mundo. Um total de 1296 estudos, publicados por 57 nacionalidades entre 1982 e 2018 revelaram uma série de estressores, e dentre os mais documentados estão os parasitas, pesticidas, alterações na paisagem, alterações interespecíficas, mudanças climáticas, traços de metais pesados, resíduos industriais, fertilizantes e disruptores endócrinos. Esses impactos tornam-se mais preocupantes pela interação entre esses estressores, e a sensibilidades dos anuros quando comparado aos outros vertebrados. Cerca de aproximadamente 3216 espécimes foram estudadas para o tema declínio de anuros, e, no *ranking* das mais citadas estão as espécies *Lithobates pipiens*, *Lithobates sylvaticus* e *Lithobates catesbeianus*, as quais possuem registros de ocorrência nos país que mais gerou conhecimento acerca do declínio populacional, os Estados Unidos. Constatou-se ainda que as regiões neotropicais possuem a maior diversidade de anuros do mundo, no entanto, são ainda pouco estudadas quando comparadas ao cenário global. Esse fato pode estar relacionado aos baixos investimentos científicos em países emergentes. Finalmente, compreender os estressores potenciais ao declínio de anuros, bem como o aspecto geográfico das pesquisas ajudará a detectar pontos para investigações futuras.

Palavras-chave: Anfíbios, tendências de pesquisas, estressores, lacunas de conhecimentos, conservação

Global analysis of the main causes associated with anuran population decline.

Guilherme Henrique Carrasco¹, Marcelino Benvindo de Souza². Lia Raquel de Souza Santos¹

¹Animal Biology Laboratory, Goiano Federal Institute, Rio Verde, GO, Brazil

²Mutagenesis Laboratory, UFG

Abstract: In this paper, there were reviewed three databases, Web of Science, Scopus and Pubmed to find the main stressors related to anuran decline in the world. A total of 1296 studies published by 57 nationalities between 1982 and 2018 revealed a number of stressors, and among the most documented are parasites, pesticides, landscape changes, interspecific changes, climate change, heavy metal traces, industrial waste, fertilizers. and endocrine disruptors. These impacts become more worrying due to the interaction between them, reaching these complex organisms in sensitivity when compared to other vertebrates. Approximately 3216 specimens have been studied for anuran decline, and among the most cited species are the *Lithobates pipiens*, *Lithobates sylvaticus* and *Lithobates catesbeianus*, which have records of occurrence in the country that most produced knowledge of population decline, the United States. It was also found that neotropical regions have the largest diversity of anurans in the world, however, they are still little studied when compared to the global scenario. This may be related to low scientific investments in emerging countries. Finally, understanding the potential stressors for anuran decline, as well as the geographical aspect of research, will help pinpoint points for future research.

Keyword: Amphibians, research trends, stressors, knowledge gaps, conservation

Introdução

Desde o início da década de 1990, foi detectado que as populações de anuros vêm sofrendo acentuado declínio populacional (BARINAGA, 1990; BLAUSTEIN & WAKE, 1990; WAKE, 1991), e atualmente menos de um terço das espécies de anuros monitoradas não se encontram em risco de extinção (IUCN, 2019). As razões para o declínio são variadas e dentre os diversos fatores (estressores) que foram apontados como responsáveis pela diminuição populacional a nível regional, citam-se os pesticidas, desmatamento, ataque de fungos e alterações climáticas. No entanto, estudos a nível mundial são escassos.

A ordem Anura, pertencente à classe Amphibia é composta por organismos que em sua maioria apresentam desenvolvimento indireto, ou seja, com estágio larval estritamente aquático (girino) e uma segunda fase, geralmente terrestre. Além disso, possuem várias características marcantes, como a capacidade de vocalização, pele altamente permeável, produção de peptídeos e toxinas (HILDEBRAND; GOSLOW, 2006). Tais características fazem com que os anuros comparados aos demais vertebrados sejam mais vulneráveis às pressões ambientais (DUELLMAN & TRUEB, 1994; CAMPOS et al., 2013). Esses atributos biológicos aliados com as condições ambientais de natureza antrópica ou natural, tais como fragmentação e destruição de habitats (MARSH & PEARMAN, 1997; NAZARETTI & CONTE, 2015; MOREIRA, 2016), efeito de agrotóxicos e outros poluentes (MORESCO et al, 2014; COSTA, 2008; PEREZ, 2016), introdução de espécies exóticas (BOELTER et al, 2012; BOTH & GRANT, 2012), mudanças climáticas (SIMON et al, 2015; DE OLIVEIRA et al, 2016) dentre vários outros fatores, são considerados fortes preditores para o declínio populacional de anuros.

No mundo há cerca de 5975 espécies de anuros sendo monitoradas (IUCN, 2019), destas, apenas 42%, (cerca de 2513 espécies), encontram-se classificadas como pouco preocupante (Least concern, LC), de acordo com a International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2019). Cerca de 1795 espécies de anfíbios estão ameaçadas (VU+EN+CR), estando distribuídas entre aquelas que se encontram vulneráveis (VU), em perigo (EN) ou criticamente em perigo (CR) o que corresponde a 30% de todas as espécies (IUCN, 2019). É estimado que 38 espécies já foram extintas

na natureza, e 120 espécies não foram encontradas nos últimos anos e que podem também terem sido extintas (ALMEIDA, 2014; IUCN, 2019). Finalmente, através da revisão da literatura científica relacionada ao tema, buscando informações em artigos que exploraram o “declínio populacional de anuros”. Assim, foram compilados dados como ano de publicação, região da publicação, espécies estudadas, estressores avaliados e quais foram as variáveis estudadas (como por exemplo, os indicadores biológicos empregados nos estudos). Desta forma, apontando quais os tipos de pesquisas mais comuns e onde existe maior lacuna do conhecimento, como também discutir sobre os dados mais estudados com a temática declínio de anuros.(rever a frase)

Material e Métodos

A análise documental ocorreu através das bases de dados multidisciplinares internacionais, ISI Web of Science, Scopus e Pubmed por configurar uma análise em escala mundial. Uma combinação das palavras-chave, “*Frog, Decline*” foi utilizada para rastrear os artigos nas três bases distintas para evitar problemas de tendenciamento de dados (MONGEON & PAUL-HUS, 2016). As buscas foram baseadas no tempo mais antigo, estabelecido nas bases de dados, até 2018. Como critério, foram descartadas pesquisas que não objetivaram investigar um fator de risco para o declínio de anuros, bem como estudos de revisão e trabalhos cujo título foi encontrado, porém não foi obtido acesso ao trabalho completo, uma vez que a totalidade das informações são obtidas com o texto na íntegra.(rever a frase).

Uma série de variáveis foram compiladas, dentre elas: (i) o ano de publicação dos artigos; (ii) países das publicações (considerado o vínculo institucional do primeiro autor), (iii) natureza das pesquisas (experimental: para estudos controlados, *in situ*: análise de campo não controlada, e modelagem: para estudos envolvendo a criação de modelos), (iv) espécies estudadas (Taxonomia e classificação na IUCN), (v) natureza dos estressores e variáveis dependentes (indicadores biológicos empregados nos estudos).

Para a natureza dos estressores, foram utilizadas as seguintes classificações: pesticidas, fertilizantes (nitratos e fosfatos), metais pesados, resíduos industriais

(poluição industrial e/ou esgoto), parasitas, alterações na paisagem (desmatamento e fragmentação de habitat), alterações climáticas (efeitos do aquecimento global), relações interespecíficas (espécies invasoras, alterações em populações de outras espécies que convivem com a espécie estudada, alteração na composição das espécies vegetais), disruptores endócrinos (etinilestradiol, estradióis), e os estressores que não se enquadraram nas diferentes classes acima, foram agrupados como “outros”.

Os estudos foram agrupados conforme a natureza de seus indicadores (variáveis dependentes): Análise populacional (quando o foco do estudo foi avaliar o tamanho populacional); Parasitológicos (análise da presença de parasitas, considerando o grau de infestação ou sintomas); Morfométricos (quando o estudo envolveu medidas como tamanho ou peso dos anuros); Histoquímica (quando envolveu uso de indicadores químicos, em proteínas, por exemplo); Metamorfose (engloba todos os trabalhos que estudaram o processo de metamorfose, como o tempo que girinos levam para iniciar a metamorfose, quanto tempo ela durou e o quanto se desenvolveram); Comportamento (utilização do comportamento animal, como respostas a estímulos externos e reconhecimento de predadores); Anatomia externa (trabalhos que analisaram malformações ao nível macroscópico); Anatomia interna (quando o estudo avaliou a anatomia em uma escala microscópica, trabalhando com órgãos ou tecidos internos); Marcadores genéticos (para qualquer estudo envolvendo genética, como ativação de genes ou danos genéticos); Modelagem (quando dados matemáticos derivados de um modelo foram utilizados); Bactérias e peptídeos (para os casos que as quantidades e os tipos de bactérias simbiotes ou peptídeos da pele foram utilizados como indicadores).

Para as análises dos dados, foi empregada a estatística descritiva baseada em Zúkal et al. (2015). Para verificar se houve aumento na produção científica entre o ano e número de publicações, ou para averiguar a presença de uma relação entre o número de publicações por país, e a diversidade de anuros por país, foi realizada uma análise de Correlação de Pearson ($P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Um total de 1296 artigos foram rastreados para a temática declínio de anuros em diversas partes do mundo. A análise temporal destaca que esses trabalhos foram

publicados a partir de 1982 configurando crescimento significativo até 2018 ($r = 0,94$; $p < 0,0001$; Figura 1). No entanto, chama atenção para o fato de que os estudos começaram a tornar-se mais frequentes, apenas depois do início da década de 1990 sendo condizente com os principais relatos científicos de declínio populacional de anuros nessa época (BARINAGA, 1990; BLAUSTEIN & WAKE, 1990; WAKE, 1991).

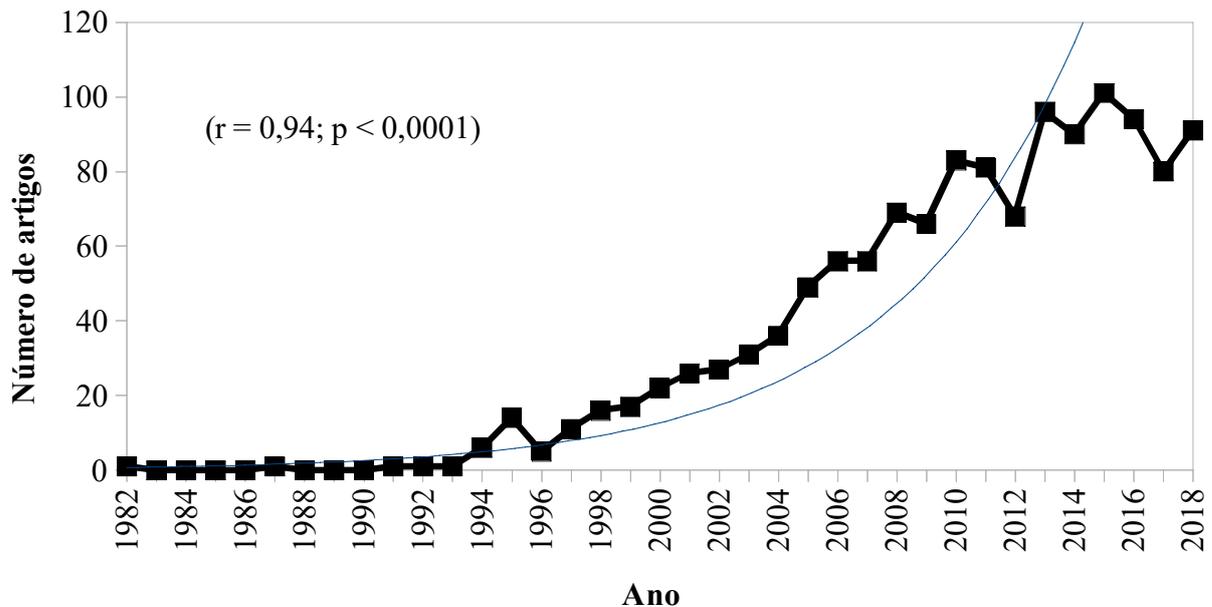


Figura 1: Número de artigos publicados sobre o declínio populacional de anuros nos últimos 36 anos (1982 e 2018).

Esses estudos foram publicados principalmente na América do Norte (Figura 2), que teve 53,40% ($n = 692$) das publicações, e o menor número de trabalhos é reportado para a América Central (0,08%). Dentre todos os 57 países que desenvolveram estudos mostrando indicadores para o declínio de anuros, os cinco que mais produziram conhecimento foram os EUA, líder nas publicações ($n = 588$), seguido pela Austrália ($n = 134$), Canadá ($n = 73$), Brasil ($n = 52$) e Reino Unido ($n = 43$).

Como esperado, os EUA lideraram as pesquisas, não apenas no campo de herpetologia ou conservação, mais também em áreas como botânica ou medicina (TABATABAEI-MALAZY, 2016; GÖTTING et al, 2017; KONUR, 2018; OKHOVATI, 2018). Este fato pode estar ligado a existência de inúmeros centros de pesquisas no país

(SCHÖFFEL et al, 2017; OZSOY; DEMIR, 2018), como também por decorrência desse ser o país que mais recebe investimento em pesquisas no mundo (UNESCO, 2019).

Dentre os países que mais publicaram, destaca-se o Brasil por ser o único país subdesenvolvido da lista. Este resultado pode ser reflexo de um país que possui a maior biodiversidade de anuros do mundo (FROST, 2019), explicando o grande número de pesquisas, mesmo com baixos investimentos, quando comparado aos demais países da lista (UNESCO, 2019).

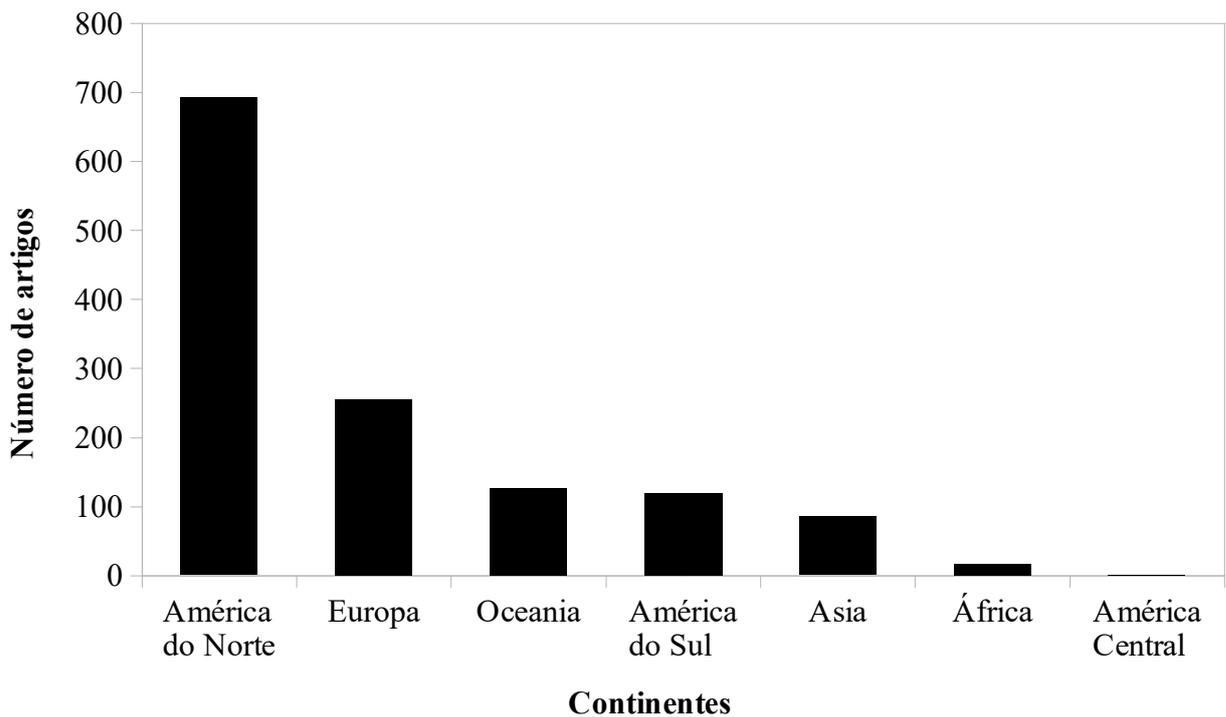


Figura 2. Aspecto geográfico da colaboração científica sobre o declínio de anuros no mundo, apresentados por continentes.

Dentro todos os dados mundialmente amostrados, um dos mais preocupantes é que não existe correlação entre o número de publicações e a biodiversidade de anuros ($r = 0,0505$; $p = 0,7090$). A exemplo pode-se citar o grande predomínio dos EUA nas pesquisas, país é responsável por 45,37% ($n = 588$) de todos trabalhos publicados mesmo abrigando apenas 112 espécies de anuros, que correspondem apenas 1,58% de todas as 7057 espécies existentes (FROST, 2019). Em contrapartida, o Brasil, país detentor da maior biodiversidade de anuros do mundo, com 1108 espécies, (FROST,

2019) ou cerca de 15,70% de toda a biodiversidade e é responsável por apenas 4,01% (n = 52) dos trabalhos.

Além disso, o segundo país com a maior biodiversidade de anuros é a Colômbia, com cerca de 788 espécies (FROST, 2019) ou 11,16% da biodiversidade mundial, mas que corresponde a menos de 0,5% do total de artigos publicados (n = 6), enquanto o terceiro país em número de espécies é o Peru com 635 (FROST, 2019) ou 8,99% das espécies, no entanto, o país correspondeu a 0,07% do total de publicações (n = 1). Essa tendência da não associação de local de produção científica *versus* biodiversidade se repete para os demais países.

Estes dados exemplificam a grande preocupação para a conservação dos anuros, evidenciada pela desassociação das regiões onde as pesquisas são realizadas com as regiões que possuem maior biodiversidade. Esse fato torna-se alarmante visto que os anfíbios, em especial os anuros, possuem grande capacidade de contribuir para o desenvolvimento de medicamentos por possuírem vasta e diferente gama de compostos bioativos em suas secreções cutâneas que apresentam funções protetivas contra vírus, fungos, bactérias e predadores (SOUZA et al, 2017). Assim o aumento para o conhecimento deste grupo merece especial atenção, uma vez que além de sua importância farmacológica, chama-se também atenção aos importantes serviços ecossistêmicos prestados por estes animais.

Natureza das pesquisas científicas

Foi observado que estudos realizados *in situ* predominaram nas buscas (Figura 3), correspondendo a 59,03% do total (n = 765) dos trabalhos publicados, seguidos por estudos experimentais, os quais remetem a 38,19% (n = 495). Já os trabalhos que envolvem tanto pesquisas *in situ* e experimentais (*ex situ*) são poucos comuns, com apenas 1,70% do total (n = 22). Pesquisas que envolveram algum tipo de modelagem (Modelagem e *in situ*/Modelagem), representaram apenas 1,08% de todas as pesquisas realizadas (n = 14) demonstrando assim grande lacuna de conhecimento em análises que seriam capazes de prever tendências de declínio populacionais, e poderia ajudar muito na elaboração de planos para estratégias de conservação (TARRANT & ARMSTRONG, 2013; LIU et al, 2013).

Assim, um aumento no número de publicações usando modelagem poderia contribuir de modo mais efetivo para melhor entendimento das dinâmicas de populações de anuros, e conseqüentemente melhor planejamento para a conservação das espécies.

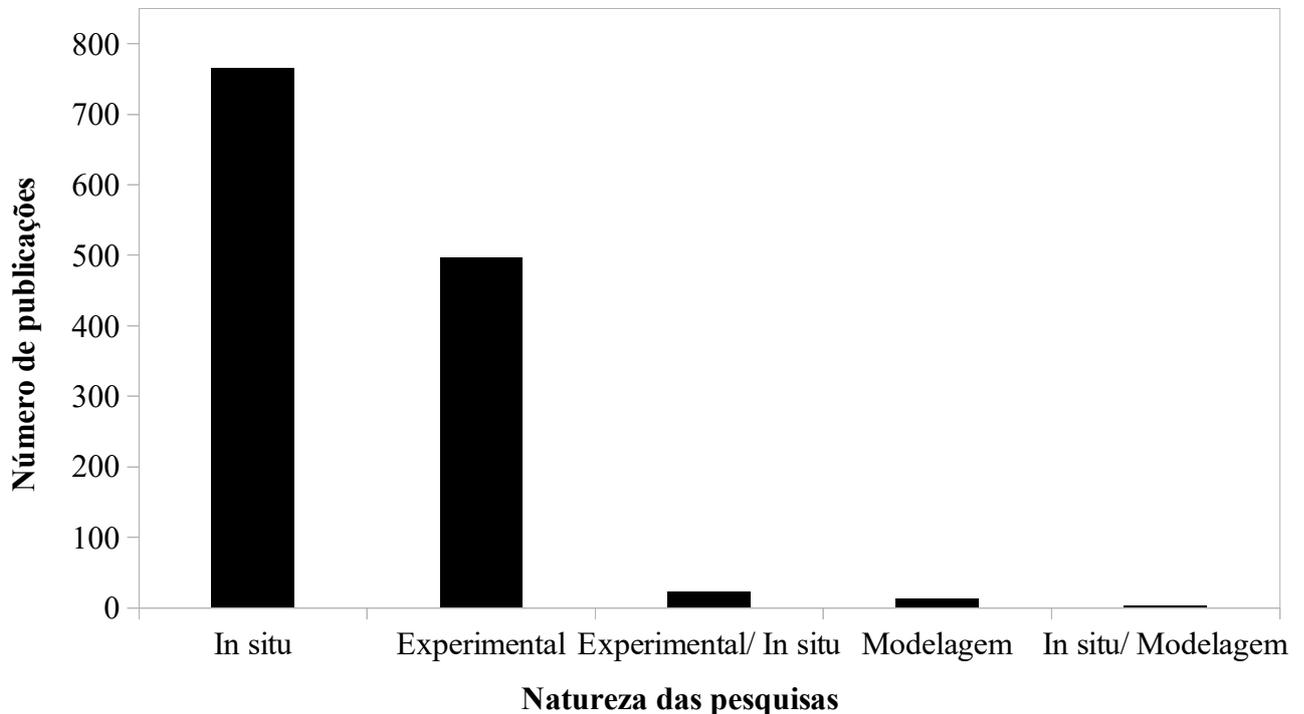


Figura 3. Natureza de estudos analisando o declínio populacional de anuros no mundo.

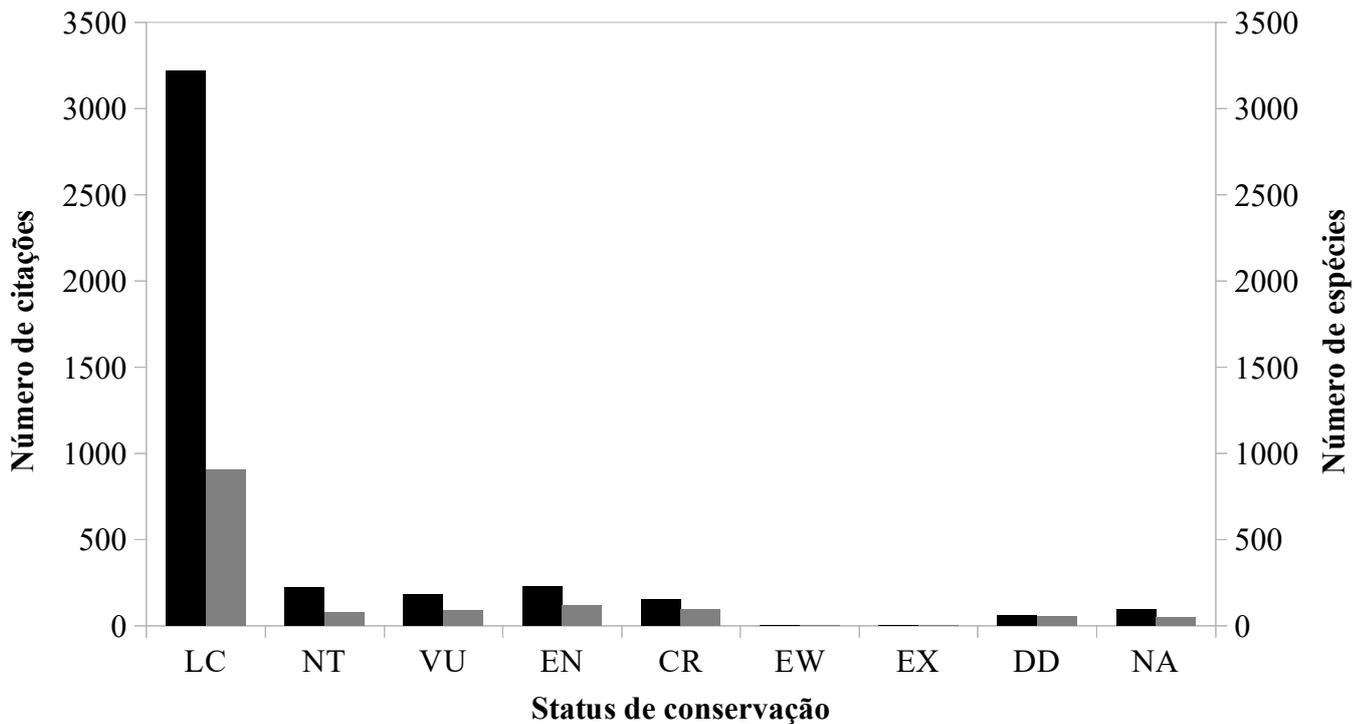
As espécies estudadas

No total 3216 espécies foram citadas nos trabalhos sobre declínio de anuros, entretanto, esses dados não significam que todas se encontram em perigo, mas que os estudos com estas espécies forneceram subsídios científicos para compreensão do declínio geral da anurofauna. O agrupamento destas espécies de acordo com o status de conservação demonstrou que o total de 903 (28,07%) destas estão classificadas como pouco preocupante (LC) de acordo com a IUCN, com uma média de 3,56 citações por espécie.

Também é notável que 105 espécies as quais foram citadas 153 vezes (média 1,76 citações por espécie) ou são Deficientes de dados (DD), ou não estão em processo de classificação pela IUCN. Desta forma, aumenta a preocupação com essas espécies, uma vez que de acordo com Moraes et al, (2013) as espécies categorizadas como DD, quando analisadas, tenderam a ser classificadas como em risco de extinção, nas

categorias Em perigo (EN) e Criticamente em perigo (CR). Destarte, fica evidente que as espécies menos estudadas, são justamente aquelas que demandariam mais pesquisas.

Figura 4: *Status* da conservação das espécies em estudos de declínio populacional de anuros. Pouco preocupantes (LC); Quase ameaçadas (NT), Vulneráveis (VU), Em perigo (EN), Criticamente em perigo (CR), Extintas no ambiente (EW), Extintas (EX),



Deficientes de dados (DD), Não analisadas (NA). A coluna preta refere-se ao número de citações (à esquerda), e a coluna cinza, ao número de espécies dentro de cada categoria (à direita).

De acordo com Toledo et al, (2014), é explicado porque as espécies que possuem classificações mais brandas como Pouco preocupantes ou Quase ameaçadas (LC ou NT) são mais estudadas. Segundo o autor são aquelas ditas mais comuns, ou seja, com maior área de ocorrência e que também costumam ser mais generalistas, em contrapartida, espécies em classificações mais graves (EN e CR) tendem a ser mais especialistas, com menor área de ocorrência, sendo muitas vezes espécies endêmicas.

Desta forma, um dos motivos que pode explicar o predomínio de espécies com maior distribuição pouco preocupante (LC) nas pesquisas (Toledo et al, 2014), é que elas são primeiramente mais fáceis de serem trabalhadas (maior disponibilidade de indivíduos), tornando mais prática a obtenção de grandes quantidades de indivíduos da

mesma espécie, e seria essencial para vários tipos de estudo experimentais, que necessitam muitas vezes sacrificar grande agrupamento de indivíduos. Além disso, podendo destacar que ao possuírem uma área de ocorrência maior, aumentam as chances dos pesquisadores de uma ou mais diferentes instituições de pesquisa entrarem em contato com as mesmas espécies, tornando possível a comparação de dados.

As cinco espécies mais estudadas em trabalhos sobre o declínio de anuros foram *Lithobates pipiens* (n = 102), *Lithobates sylvaticus* (n = 97), *Lithobates catesbeianus* (n = 95), *Lithobates clamitans* (n = 83) e *Pseudacris regilla* (n = 79), como pode ser visto na tabela 01. Segundo dados disponíveis na IUCN, todas elas ocorrem nos EUA, e são classificadas com pouco preocupantes (LC). Sendo os EUA o maior contribuidor dos trabalhos publicados e o fato das espécies mais facilmente disponíveis para pesquisadores desse país sejam as mais estudadas, isso serve de prova adicional para explicar o predomínio de espécies LC que ocorrem nas pesquisas.

L. catesbeianus é uma espécie invasora em diversos países como o Brasil, China e França (IUCN, 2019) e foi ligada aos diversos impactos negativos para populações nativas (BUCCIARELLI et al, 2014), uma vez que podem servir de reservatório para o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BORZEE, 2017) como também são predadoras de espécies de anuros nativas (LIU et al, 2015). Esses fatos podem também ajudar a explicar a grande ocorrência desta espécie nas pesquisas.

Tabela 1: Panorama das cinco famílias e espécies mais estudadas para o declínio de anuros no mundo.

| Família | Nº de citações | Espécies | Nº de citações |
|----------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Ranidae | 983 | <i>Lithobates pipiens</i> | 102 |
| Hylidae | 928 | <i>Lithobates sylvaticus</i> | 97 |
| Bufonidae | 525 | <i>Lithobates catesbeianus</i> | 95 |
| Craugastoridae | 245 | <i>Lithobates clamitans</i> | 83 |
| Microhylidae | 207 | <i>Pseudacris regilla</i> | 79 |

Principais estressores para o declínio populacional de anuros

Cerca de 27,47% (n = 484) dos trabalhos identificaram parasitas como estressor (Figura 5), dentre estes, 70,34% dos trabalhos (n = 339) abordaram o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD), parasita que causa a quitridiomicrose, dizimando

diversas espécies de anuros ao redor do mundo (SKERRATT et al, 2007; SCHEELE et al., 2017). Embora aumente lentamente sua área de ocorrência (OLSON et al, 2013; BERGER et al, 2016), a preocupação com o avanço do fungo é tamanha que vários trabalhos consistem apenas na checagem se determinada área encontra-se contaminada por esporos (OUELLET et al, 2005; KILBURN et al, 2010; REEDER et al, 2011).

Além disso, o fungo fragiliza o organismo dos anuros, e gera efeito sinérgico deste com vários outros estressores como, por exemplo, pesticidas (BUCK et al, 2015; ROHR et al, 2017) ou com espécies invasoras, as quais podem servir de reservatório para os esporos (GREENSPAN et al, 2012; SOTO-AZAT et al, 2016). Em contrapartida, o efeito derivado das alterações climáticas, as ondas de calor extremos mostraram possuir relação antagônica com o fungo (RICHARDS-ZAWACKI, 2010; GREENSPAN et al, 2017).

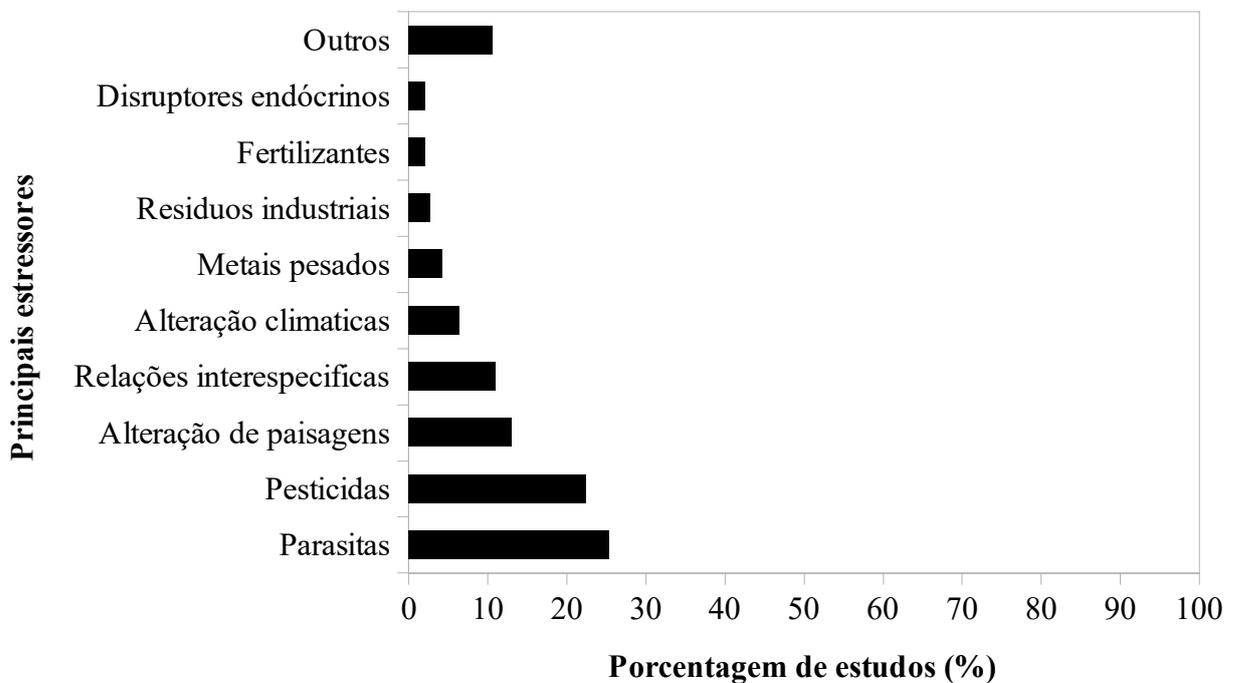


Figura 5: Porcentagem de contribuição de estudos com cada classe de estressores para o declínio de anuros no mundo, para o número total de citações (n = 1907).

Pesticidas foram a segunda classe de estressores mais estudada, respondendo a 24,23% do total (n = 437) das publicações como demonstrado na Figura 5 e 6. Dentre os

pesticidas, os resultados apontam que 40,93% dos trabalhos reportam o uso de inseticidas (n = 203), seguido por herbicidas com 30,04% (n = 149), fungicidas (15,32%, n = 76) e acaricidas com 10,89% (n = 54). Os demais pesticidas (Nematicidas, Moluscocidas, Raticidas, etc) corresponderam apenas a 2,82% do total (n = 14). Vale ressaltar que os pesticidas mais estudados em anuros, diferem dos mais usados no mundo, em que as categorias de maior uso seriam os herbicidas, seguidos dos inseticidas e fungicidas (EPA, 2017).

É digno de nota que embora existam alguns trabalhos relacionando a morte de indivíduos com pesticidas, a grande maioria trabalha com os efeitos subletais destes produtos, dentre eles podendo citar alterações no sistema imune (CHRISTIN et al, 2003, 2004), no desenvolvimento de embriões alterando o tempo de desenvolvimento ou gerando malformações (ALLRAN & KARASOV, 2001; JI et al, 2016), alterações na metamorfose com mudanças no peso e tamanho que os anuros iniciam e terminam o processo ou mesmo o tempo que os indivíduos levam para começar a sofrer metamorfose podendo tanto aumentar ou diminuir o tempo total deste processo (BOONE, 2008; BRUNELLI et al, 2009; SPARLING & FELLERS, 2009; CHOUNG et al, 2011).

Outros danos não menos importantes, são os vinculados aos órgãos, sobretudo ao fígado e às gônadas. O fígado é a maior glândula do corpo (HILDEBRAND; GOSLOW, 2006) e está relacionado ao processo de desintoxicação, por isto é muito utilizado como alvo em trabalhos para avaliação da qualidade ambiental, dentre os quais pode-se citar Zaya et al (2011) que relacionou a atrofia do fígado à presença do pesticida Atrazina. Estudos histoquímicos analisando a concentração de radicais livres (BONCOMPAGNI et al, 2004) e atrofia do órgão ao submetê-lo a glifosato e estresse hídrico (BRODEU et al, 2012), ou como a quantidade de melanomacrófagos hepáticos podem aumentar como resposta a esses estressores (BACH et al, 2018).

Já em relação às gônadas, diversos estudos ligam danos ao tecido com diminuição de viabilidade reprodutiva, especialmente estudos como os de Trchantong et al (2013) e Moresco et al (2014), os quais relacionaram efeitos dos pesticidas Dieldrina e Atrazina com alterações anatômicas nas gônadas levando a intersexualidade dos indivíduos. Além disso, diversos outros estudos ligam esses estressores à diminuição da produção de espermatozoides nos machos (DE GREGORIO et al, 2016).

A terceira classe de estressores mais estudada, com 14,07% do total (n = 248) foi a alteração de paisagem por desmatamento ou urbanização. É importante salientar que além dos danos diretos como a diminuição do habitat, o que mais se destacou foi a possibilidade de danos indiretos, como a retirada da cobertura vegetal levando a maior exposição dos anuros à radiação ultravioleta, que pode causar inúmeros danos, como diminuição do consumo de alimentos (LONDERO et al, 2017), deformações embrionárias (CASTANAGA et al, 2009), ou torná-los mais suscetíveis a ataques de predadores (ALTON et al, 2011). No caso da urbanização, os animais ficam sujeitos à poluição sonora (TENNESSEN et al, 2014; NELSON et al, 2017). Além dos danos diretos como os mencionados acima, pode ser citado também os indiretos que atuam a longo prazo, como exemplo a diminuição de variedade genética em virtude de isolamento de populações em decorrência de fragmentação de habitat (PRÖHL; KRUEG, 2013; ETEROVICK et al, 2016).

Estudos também demonstram que alterações na paisagem vegetal como as mudanças de flora específicas podem apresentar efeitos adversos em anuros, como as plantas invasoras *Phragmites australis*, relacionadas ao declínio de populações de *Anaxyrus fowleri* (GREENBERG; GREEN, 2013) em que a substituição das espécies vegetais nativas por espécies invasoras, resultam em menor disponibilidade de locais para reprodução dos anuros, uma vez que as plantas *Phragmites australis* crescem demasiadamente e reduzem áreas para reprodução destes animais.

Em quarto lugar, citam-se as relações interespecíficas com 11,92% (n = 210) e que envolveu principalmente o efeito de espécies invasoras, especialmente com a introdução de espécies não nativas de peixes, sobretudo de trutas da família Salmonidae (43,80%; n = 92) e de espécies de anuros invasoras, como *Lithobates castebeianus* (21,90%; n = 46). Quanto à introdução de anuros exóticos, ela está ligada ao declínio na área de ocorrência de várias espécies nativas e dentre os motivos pode-se citar a predação (LIU et al, 2015), competição interespecífica (KUPFERBERG, 1997) ou mesmo funcionando como reservatório para o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BORZEE et al, 2017). Quanto aos peixes, estes também atuam na predação de larvas de anuros (BOSCH et al, 2006; HERWIG et al, 2013).

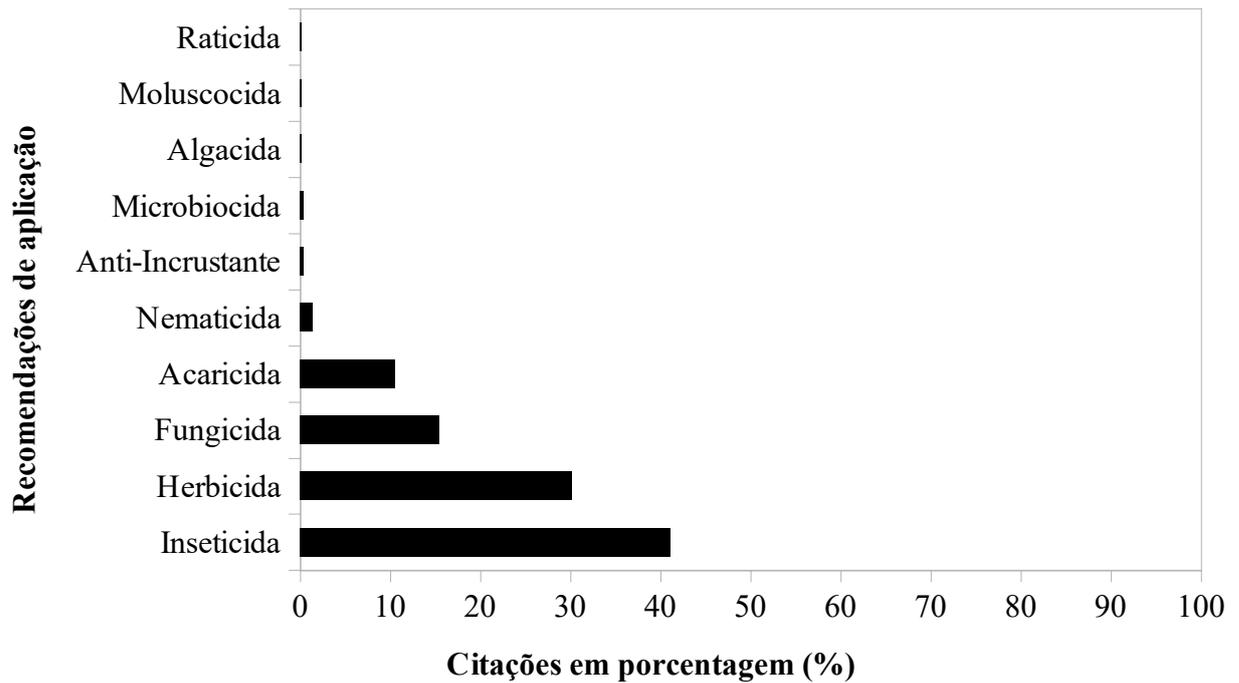


Figura 6: Porcentagem de Pesticidas classificados conforme suas indicações de aplicações, de acordo com a bula do produto.

Os focos de estudos utilizados para avaliar a sensibilidade das espécies

Quando os objetos de estudo mais comuns são analisados (Figura 7), nota-se que as investigações populacionais como aqueles referentes ao número de indivíduos ou taxa de mortalidade foram os mais utilizados, respondendo a cerca de 32,84% das citações (n = 645). Em seguida, estão os estudos sobre anatomia externa com 17,67% do total (n = 292). Estudos parasitológicos englobavam principalmente a identificação de parasitas, bem como, o grau de infestação com 14,87% das citações (n = 292) e em quarto lugar, observa-se os indicadores morfométricos, os quais os autores analisavam parâmetros como tamanho, peso ou crescimento dos animais (12,93% dos trabalhos, n = 254).

O uso de metodologias como análises populacionais (levantamento de população) ou a taxa de mortalidade (porcentagem de indivíduos que morreram durante o experimento), responderam cerca de 15% do total de indicadores investigados (n =

297 e 295, respectivamente). Para diagnósticos de anatomia externa, foi observado o predomínio de avaliações quanto aos membros (presença ou ausência, atrofia ou hipertrofia) com a 5,14% dos trabalhos (n = 101).

Já estudos morfométricos, os quais avaliam principalmente as medidas de crescimento (acompanhamento de peso e tamanho durante a realização do experimento, comparando as medidas iniciais e finais) e medidas de tamanho (comprimento rostro-cloacal, tamanho de membros, sem acompanhamento durante o experimento, uma única medição) corresponderam a 5,13% e 4,93% do total de trabalhos respectivamente (n = 102 e 97).

Essas metodologias são as mais representativas de três das quatro classificações de indicadores dos estudos que mais pontuaram (Populações, Anatomia externa e Morfometria), todas elas possuem em comum o fato de não necessitarem grandes investimentos para serem realizadas, sendo portanto de fácil acesso em comparação a técnicas mais complexas, como as que envolveram sequenciamentos genéticos. Tanto a comparação de diversidade gênica quanto a análise de expressão gênica foram pouco utilizadas, aparecendo em aproximadamente 2% dos trabalhos (n = 20 e 19 respectivamente).

Desta forma, sugere-se que metodologias mais simples e baratas são mais utilizadas que as mais caras, fenômeno que pode estar relacionado a falta de interesse do poder público pelo grupo animal estudado, e pode ser exemplificado pelo fato que no Brasil, país com maior biodiversidade de anfíbios do mundo (e o menos desenvolvido da lista dos 5 países que mais contribuem com as pesquisas), possui cerca de 60 planos nacionais de conservação de fauna e flora (ICMBIO, 2018), e apenas cinco abrangem anuros, sem, no entanto, abranger especificamente o grupo (conservação de herpetofauna), enquanto, espécies como a onça-pintada (*Panthera onca*), e o mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*), ambos mamíferos, possuem planos de conservação dedicados exclusivamente para suas espécies.

A análise de indicadores parasitológicos, para o entendimento do declínio populacional de anuros, englobou estudos quantitativos quanto a presença ou ausência de parasitas (RESHETNIKOV et al 2014; AGOSTINI; BURROWES, 2015). No entanto, estudos com estressores para o declínio populacional de anuros avaliaram também outros parâmetros, como forrageio (VENESKY et al, 2009), alterações no

fígado, baço e medula de anuros (BRANNELLY et al, 2016), explicando que os estressores mais estudados são os parasitas, mas, ao mesmo tempo, que os estudos classificados como parasitológicos (que usaram parasitas como indicadores) são apenas os segundos mais populares.

Além disso, estudos que analisaram, a redução de diversidade genética (FURMAN et al, 2016; POTVIN et al, 2017), identificação ou quantificação de peptídeos (DAVIDSON et al, 2007; GIBBLE; BAER, 2011), são consideravelmente mais raros, provavelmente pelo fato de exigirem maiores investimentos financeiros e pessoal especializado para tais análises.

Outra classe de indicadores são os estudos voltados a metamorfose (6,36%; n = 122). A fase larval (período metamórfico) é um período crítico para o desenvolvimento dos anuros, portanto, seria interessante maior esforço amostral nesse período. Todavia, embora o número de trabalhos tenha sido baixo comparado com outras pesquisas (indicadores) de interesse ecológico por exemplo, um crescimento tímido de iniciativas em laboratórios ecotoxicológicos em algumas partes do mundo tem gerado fortes resultados para o impactos antropogênico em anuros (MOORE et al, 2015; HANLON et al 2015, BORGES et al, 2019a,b).

Em trabalhos utilizando a metamorfose como variável dependente, os resultados mais interessantes estão ligados ao tempo que a metamorfose levou para ser concluída, (também chamado de período larval) isto porque diferentes estressores podem tanto prolongar (WANG et al, 2015, PILLARD et al, 2017) ou encurtar esse processo (FONG et al, 2016; BARRETT et al, 2010). Segundo Vonesh & Warkentin, (2006), os girinos podem acelerar ou retardar o processo de metamorfose para, por exemplo, evitar predadores, como no caso de insetos aquáticos (*Belostoma spp.*) que predam girinos, e aranhas (*Thaumasia spp.*) as quais predam imagos de anuros. No estudo em questão, os girinos puderam encurtar seu período de metamorfose quando expostos aos insetos aquáticos ou prolongar este período quando expostos às aranhas. Desta forma, estressores que afetem esse processo podem levar os girinos a permanecerem em condição desfavorável por mais tempo do que o normal, ocasionando em impactos futuros na população, por ampliar ou reduzir o tempo *start* da reprodução e portanto, a reposição de novos indivíduos na natureza.

Em contrapartida, poderia haver situações que ao diminuir ou aumentar o tempo de metamorfose artificialmente (em decorrência do efeito de algum estressor), pode haver incremento na sobrevivência dos indivíduos, por forçar os girinos a permanecerem em ambientes mais propício.

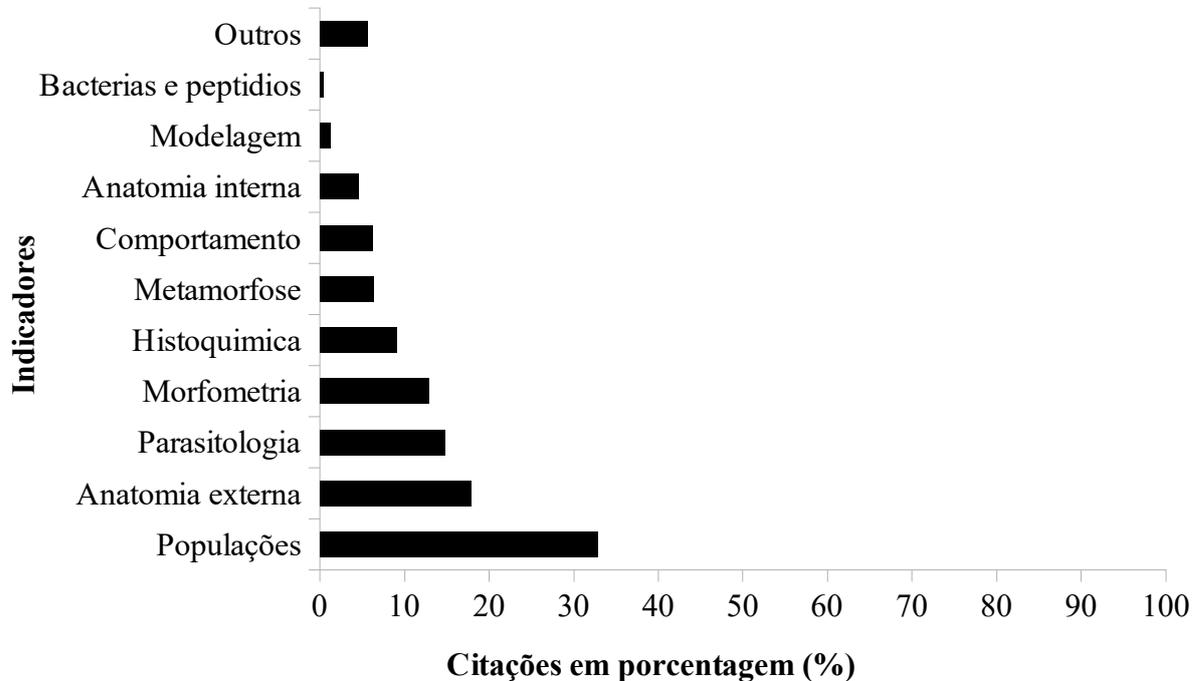


Figura 7: Principais indicadores utilizados nas pesquisas de detecção de declínio de anuros no mundo.

Conclusão

Existem diferentes causas para o declínio de anuros, no entanto percebe-se diversas lacunas de conhecimento sobre o tema, em que estudos que envolvem modelagem, por exemplo, são extremamente raros, assim como estudos envolvendo espécies em real perigo de extinção. Outra lacuna encontrada é a falta de investimentos em pesquisa em muitos países, ficando claro que a maioria das pesquisas concentram-se nos dois maiores centros de pesquisa (EUA e Austrália). Sobre os estressores, o que mais chama a atenção é o grande foco em parasitas e pesticidas, especialmente para o primeiro, devido ao ataque do fungo *Batrachochytrium dendrobatidis*, além disso vale notar como alterações nas paisagens (desmatamento e fragmentação de habitat) e relações interespecíficas.

(sobretudo introdução de espécies exóticas e desequilíbrio populacionais) também tiveram grande peso.

Quanto ao foco das pesquisas, os resultados mostraram que experimentos que demandam menor custo financeiro para serem realizados (como contagem de indivíduos, ou análises morfométricas) são mais comuns do que aqueles que utilizaram técnicas cujo custo é mais alto (como marcadores genéticos, e alguns indicadores histoquímicos), e uma das explicações prováveis seria a de menor interesse por parte das entidades governamentais, o que consequentemente implica em menor investimento financeiro no grupo, inviabilizando as pesquisas.

Por fim, este trabalho deixa claro, que há ainda muito a ser estudado quanto ao declínio populacional de anuros, de modo que mais pesquisas e investimentos são necessários.

Referências

- AGOSTINI, M.; BURROWES, P. Infection patterns of the chytrid fungus, *Batrachochytrium dendrobatidis*, on anuran assemblages in agro-ecosystems from Buenos Aires Province, Argentina. **Phyllomedusa: Journal of Herpetology**, v. 14, n. 2, p. 113-126, 29 dez. 2015.
- ALLRAN, J. W.; KARASOV, W. H. Effects of atrazine on embryos, larvae, and adults of anuran amphibians. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 769-775, 2001.
- ALMEIDA, P. R. **Toxicidade aguda (LC50) e Efeitos Comportamentais e morfológicos do formulado comercial Roundup Original® em girinos de *Physalaemus cuvieri* (ANURA, Leptodactylidae) e *Rhinella icterica* (ANURA, Bufonidae)**. 2014. Dissertação, Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas – MG.
- ALTON, L. A.; WILSON, R. S.; FRANKLIN, C. E. A small increase in uv-b increases the susceptibility of tadpoles to predation. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 278, n. 1718, p. 2575-2583, 2011.

- BACH, N. C. et al. Effects of glyphosate and its commercial formulation, Roundup (R) Ultramax, on liver histology of tadpoles of the neotropical frog, *Leptodactylus latrans* (amphibia: Anura). **Chemosphere**, v. 202, p. 289-297, Jul 2018.
- BARINAGA, M. Where have all the froggies gone. **Science**, v. 247, n. 4946, p. 1033-1034, Mar 1990. ISSN 0036-8075.
- BARRETT, K.; GUYER, C.; WATSON, D. Water from Urban Streams Slows Growth and Speeds Metamorphosis in Fowler's Toad (*Bufo fowleri*) Larvae. **Journal of Herpetology**, v. 44, n. 2, p. 297-300, 2010.
- BERGER, L. et al. History and recent progress on chytridiomycosis in amphibians. **Fungal Ecology**, v. 19, p. 89-99, 2016.
- BLAUSTEIN, A. R.; WAKE, D. B. Declining amphibian populations – a global phenomenon. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 5, n. 7, p. 203-204, Jul 1990.
- BOELTER, R. A. et al. Invasive bullfrogs as predators in a Neotropical assemblage: What frog species do they eat? **Animal Biology**, v. 62, n. 4, p. 397-408, 2012.
- BONCOMPAGNI, E. et al. Toxicity of chromium and heptachlor epoxide on liver of *Rana kl. esculenta*: a morphological and histochemical study. **Italian Journal of Zoology**, v. 71, p. 163-167, 2004.
- BOONE, M. D. Examining the single and interactive effects of three insecticides on amphibian metamorphosis. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 27, n. 7, p. 1561-1568, Jul 2008.
- BORGES, R. E. et al. Genotoxic Evaluation in Tadpoles Associated with Agriculture in the Central Cerrado, Brazil. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 77, n. 1, p. 22-28, 2019a.
- BORGES, R. E. et al. Monitoring the morphological integrity of neotropical anurans. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 3, p. 2623-2634, 2019b.
- BORZEE, A. E. L. et al. Introduced bullfrogs are associated with increased *Batrachochytrium dendrobatidis* prevalence and reduced occurrence of Korean treefrogs. **Plos One**, v. 12, n. 5, May 2017.
- BORZEE, A. E. L. et al. Introduced bullfrogs are associated with increased *Batrachochytrium dendrobatidis* prevalence and reduced occurrence of Korean treefrogs. **Plos One**, v. 12, n. 5, May 2017.

- BOSCH, J. et al. Effects of introduced salmonids on a montane population of Iberian frogs. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 180-189, Feb 2006.
- BOTH, C.; GRANT, T. Biological invasions and the acoustic niche: the effect of bullfrog calls on the acoustic signals of white-banded tree frogs. **Biology Letters**, v. 8, n. 5, p. 714-716, Oct 2012.
- BRANNELLY, L. A. et al. Effects of chytridiomycosis on hematopoietic tissue in the spleen, kidney and bone marrow in three diverse amphibian species. **Pathogens and Disease**, v. 74, n. 7, 2016.
- BRODEUR, J. C. et al. Evidence of Reduced Feeding and Oxidative Stress in Common Tree Frogs (*Hypsiboas pulchellus*) from an Agroecosystem Experiencing Severe Drought. **Journal of Herpetology**, v. 46, n. 1, p. 72-78, Mar 2012.
- BRUNELLI, E. et al. Environmentally relevant concentrations of endosulfan impair development, metamorphosis and behaviour in *Bufo bufo* tadpoles. **Aquatic Toxicology**, v. 91, n. 2, p. 135-142, Jan 2009.
- BUCCIARELLI, G. M. et al. Invasion Complexities: The Diverse Impacts of Nonnative Species on Amphibians. **Copeia**, n. 4, p. 611-632, Dec 2014.
- BUCK, J. C. et al. Effects of Pesticide Mixtures on Host-Pathogen Dynamics of the Amphibian Chytrid Fungus. **Plos One**, v. 10, n. 7, Jul 2015.
- CAMPOS, V.A., ODA, F.H., JUEN, L., BARTH, A. & DARTORA, A. Composition and species richness of anuran amphibians in three different habitat in an agrosystem in Central Brazilian Cerrado, **Biota Neotropical**, v. 13(1), 2013.
- CASTANAGA, L. A. et al. Stage-dependent teratogenic and lethal effects exerted by ultraviolet B radiation on *Rhinella* (*Bufo*) *arenarum* embryos. **Environ Toxicol Chem**, v. 28, n. 2, p. 427-33, Feb 2009.
- CHOUNG, C. B. et al. Developmental toxicity of two common corn pesticides to the endangered southern bell frog (*Litoria raniformis*). **Environmental Pollution**, v. 159, n. 10, p. 2648-2655, Oct 2011.
- CHRISTIN, M. S. et al. Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Rana pipiens* and on its resistance to parasitic infection. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, n. 5, p. 1127-1133, May 2003.

- CHRISTIN, M. S. et al. Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Xenopus laevis* and *Rana pipiens*. **Aquatic Toxicology**, v. 67, n. 1, p. 33-43, Mar 2004.
- COSTA, M. J. et al. Oxidative stress biomarkers and heart function in bullfrog tadpoles exposed to Roundup Original (R). **Ecotoxicology**, v. 17, n. 3, p. 153-163, Apr 2008.
- DAVIDSON, C. et al. Effects of Chytrid and Carbaryl Exposure on Survival, Growth and Skin Peptide Defenses in Foothill Yellow-legged Frogs. **Environmental Science & Technology**, v. 41, n. 5, p. 1771-1776, 2007.
- DE GREGORIO, L. S. et al. Flutamide effects on morphology of reproductive organs and liver of Neotropical Anura, *Rhinella schneideri*. **Aquatic Toxicology**, v. 176, p. 181-189, Jul 2016.
- DE OLIVEIRA, I. S.; RODDER, D.; TOLEDO, L. F. Potential worldwide impacts of sea level rise on coastal-lowland anurans. **North-Western Journal of Zoology**, v. 12, n. 1, p. 91-101, Jun 2016.
- DUELLMAN, W.E. & TRUEB, L. *Biology of Amphibians*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994.
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Pesticides Industry Sales and Usage 2008-2012 Estimates**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-industry-sales-usage-2016_0.pdf>. Acesso em 10 de Abril de 2019.
- ETEROVICK, P. C. et al. Isolated frogs in a crowded world: Effects of human-caused habitat loss on frog heterozygosity and fluctuating asymmetry. **Biological Conservation**, v. 195, p. 52-59, 2016.
- FONG, P. P. et al. Long-term exposure to gold nanoparticles accelerates larval metamorphosis without affecting mass in wood frogs (*Lithobates sylvaticus*) at environmentally relevant concentrations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 9, p. 2304-2310, 2016.
- FROST, D.R. **Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0**. New York, USA., 2019. Disponível em: <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/index.php>. Acesso em: 18 abr. 2019.

- FURMAN, B. L. S. et al. Limited genetic structure in a wood frog (*Lithobates sylvaticus*) population in an urban landscape inhabiting natural and constructed wetlands. **Conservation Genetics**, v. 17, n. 1, p. 19-30, February 01 2016.
- GIBBLE, R. E.; BAER, K. N. Effects of atrazine, agricultural runoff, and selected effluents on antimicrobial activity of skin peptides in *Xenopus laevis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 4, p. 593-599, 2011.
- GÖTTING, M. et al. Pulmonary Hypertension: Scientometric Analysis and Density-Equalizing Mapping. **Plos One**, v. 12, n. 1, p. e0169238, 2017.
- GREENBERG, D. A.; GREEN, D. M. Effects of an invasive plant on population dynamics in toads. **Conservative Biology**, v. 27, n. 5, p. 1049-57, Oct 2013.
- GREENSPAN, S. E. et al. Realistic heat pulses protect frogs from disease under simulated rainforest frog thermal regimes. **Functional Ecology**, v. 31, n. 12, p. 2274-2286, Dec 2017.
- GREENSPAN, S. E. et al. Transmission of *Batrachochytrium dendrobatidis* To Wood Frogs (*Lithobates sylvaticus*) via a bullfrog (*L. catesbeianus*) VECTOR. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 48, n. 3, p. 575-582, Jul 2012.
- HANLON, S. M. et al. The effects of a fungicide and chytrid fungus on anuran larvae in aquatic mesocosms. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 17, p. 12929-12940, Sep 2015.
- HERWIG, B. R. et al. Fish Influences on Amphibian Presence and Abundance in Prairie and Parkland Landscapes of Minnesota, USA. **Journal of Herpetology**, v. 47, n. 3, p. 489-497, Sep 2013.
- HILDEBRAND M.; GOSLOW G.; **Análise da Estrutura dos Vertebrados**. 2 a ed, São Paulo: Atheneu, 2006.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DE BIODIVERSIDADE. **Planos de Ação Nacional**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/planos-de-acao-nacional?task=listaPlanoAcao&limitstart=0>>. Acessado 22 de fevereiro de 2018
- IUCN. **Red List – The IUCN Red List of Threatened Species, Version 3.1**. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 15 jan 2019.

- Ji, Q. C. et al. Atrazine and malathion shorten the maturation process of *Xenopus laevis* oocytes and have an adverse effect on early embryo development. **Toxicology in Vitro**, v. 32, p. 63-69, Apr 2016.
- JOSEPH, M. B. et al. Indirect effects of introduced trout on Cascades frogs (*Rana cascadae*) via shared aquatic prey. **Freshwater Biology**, v. 56, n. 5, p. 828-838, May 2011.
- KILBURN, V. L. et al. Ubiquity of the pathogenic chytrid fungus, *Batrachochytrium dendrobatidis*, in Anuran communities in Panama. **Ecohealth**, v. 7, n. 4, p. 537-48, Dec 2010.
- KONUR, O. Scientometric evaluation of the global research in spine: an update on the pioneering study by Wei et al. **European Spine Journal**, v. 27, n. 3, p. 524-529, March 01 2018.
- KUPFERBERG, S. J. Bullfrog (*Rana catesbeiana*) invasion of a California river: The role of larval competition. **Ecology**, v. 78, n. 6, p. 1736-1751, Sep 1997.
- LIU, C. et al. Species distribution modelling for conservation planning in Victoria, Australia. **Ecological Modelling**, v. 249, p. 68-74, 2013/01/24/ 2013.
- LIU, X. et al. Diet and Prey Selection of the Invasive American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Southwestern China. **Asian Herpetological Research**, v. 6, n. 1, p. 34-44, Mar 2015.
- LIU, X. et al. Diet and Prey Selection of the Invasive American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) qin Southwestern China. **Asian Herpetological Research**, v. 6, n. 1, p. 34-44, Mar 2015.
- LONDERO, J. E. L. et al. Impacts of UVB radiation on food consumption of forest specialist tadpoles. **Ecotoxicol Environ Saf**, v. 143, p. 12-18, Sep 2017.
- MARSH, D. M.; PEARMAN, P. B. Effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of Leptodactylid frogs in an Andean montane forest. **Conservation Biology**, v. 11, n. 6, p. 1323-1328, Dec 1997.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213-228, Jan 2016.
- MOORE, H.; CHIVERS, D. P.; FERRARI, M. C. O. Sub-lethal effects of Roundup (TM) on tadpole anti-predator responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 111, p. 281-285, Jan 2015.

- MORAIS, A. R. et al. Unraveling the conservation status of data deficient species. **Biological Conservation**, v. 166, p. 98-102, 2013.
- MOREIRA, L. F. B. et al. Effects of exotic pastures on tadpole assemblages in Pantanal floodplains: assessing changes in species composition. **Amphibia-Reptilia**, v. 37, n. 2, p. 179-190, 2016.
- MORESCO, R. M.; MARGARIDO, V. P.; DE OLIVEIRA, C. A persistent organic pollutant related with unusual high frequency of hermaphroditism in the neotropical anuran *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826. **Environmental Research**, v. 132, p. 6-11, Jul 2014.
- MORESCO, R. M.; MARGARIDO, V. P.; DE OLIVEIRA, C. A persistent organic pollutant related with unusual high frequency of hermaphroditism in the neotropical anuran *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826. **Environmental Research**, v. 132, p. 6-11, Jul 2014.
- NAZARETTI, E. M.; CONTE, C. E. Anurofauna an altered remant of Mesophytic Semideciduous Forest the banks of the Paranapanema River. **Iheringia Serie Zoologia**, v. 105, n. 4, p. 420-429, Dec 2015.
- NAZARETTI, E. M.; CONTE, C. E. Anurofauna an altered remant of Mesophytic Semideciduous Forest the banks of the Paranapanema River. **Iheringia Serie Zoologia**, v. 105, n. 4, p. 420-429, Dec 2015.
- NELSON, D. V. et al. Calling at the highway: The spatiotemporal constraint of road noise on Pacific chorus frog communication. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 1, p. 429-440, Jan 2017.
- OKHOVATI, M. et al. Trends in Global Assisted Reproductive Technologies Research: a Scientometrics study. **Electronic physician**, v. 7, n. 8, p. 1597-1601, 2015.
- OLSON, D. H. et al. Mapping the Global Emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the Amphibian Chytrid Fungus. **Plos One**, v. 8, n. 2, 2013.
- OUELLET, M. et al. Historical evidence of widespread chytrid infection in North American amphibian populations. **Conservation Biology**, v. 19, n. 5, p. 1431-1440, Oct 2005.
- OZSOY, Z.; DEMIR, E. The Evolution of Bariatric Surgery Publications and Global Productivity: A Bibliometric Analysis. **Obesity Surgery**, v. 28, n. 4, p. 1117-1129, April 01 2018.

- PEREZ-IGLESIAS, J. M. et al. Effects of glyphosate on hepatic tissue evaluating melanomacrophages and erythrocytes responses in neotropical anuran *Leptodactylus latinasus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 10, p. 9852-9861, May 2016.
- PILLARD, D. A. et al. Effects of 3-Nitro-1,2,4-triazol-5-one on Survival, Growth and Metamorphosis in the Northern Leopard Frog, *Lithobates pipiens*. **Ecotoxicology**, v. 26, n. 9, p. 1170-1180, November 01 2017.
- POTVIN, D. A. et al. Genetic erosion and escalating extinction risk in frogs with increasing wildfire frequency. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 3, p. 945-954, 2017.
- PRÖHL, H.; KRUG, A. Population genetics in a fragmented population of the European tree frog (*Hyla arborea*). **Amphibia Reptilia**, v. 34, n. 1, p. 95-107, 2013.
- REEDER, N. M. M. et al. Survey of the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* from montane and lowland frogs in eastern Nigeria. **Herpetology Notes**, v. 4, n. 1, p. 83-86, 2011.
- RESHETNIKOV, A. N. et al. Detection of the emerging amphibian pathogens *Batrachochytrium dendrobatidis* and ranavirus in Russia. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 110, n. 3, p. 235-240, 2014.
- RICHARDS-ZAWACKI, C. L. Thermoregulatory behaviour affects prevalence of chytrid fungal infection in a wild population of Panamanian golden frogs. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 277, n. 1681, p. 519-528, Feb 2010.
- ROHR, J. R. et al. A pesticide paradox: fungicides indirectly increase fungal infections. **Ecological Applications**, v. 27, n. 8, p. 2290-2302, Dec 2017.
- SCHEELE, B. C. et al. After the epidemic: Ongoing declines, stabilizations and recoveries in amphibians afflicted by chytridiomycosis. **Biological Conservation**, v. 206, p. 37-46, Feb 2017.
- SCHÖFFEL, N. et al. Hirschsprung Disease: Critical Evaluation of the Global Research Architecture Employing Scientometrics and Density-Equalizing Mapping. **Eur J Pediatr Surg**, v. 27, n. 02, p. 185-191, 2017.

- SIMON, M. N.; RIBEIRO, P. L.; NAVAS, C. A. Upper thermal tolerance plasticity in tropical amphibian species from contrasting habitats: Implications for warming impact prediction. **Journal of Thermal Biology**, v. 48, p. 36-44, 2015.
- SKERRATT, L. F. et al. Spread of chytridiomycosis has caused the rapid global decline and extinction of frogs. **Ecohealth**, v. 4, n. 2, p. 125-134, 2007.
- SOTO-AZAT, C. et al. *Xenopus laevis* and Emerging Amphibian Pathogens in Chile. **Ecohealth**, v. 13, n. 4, p. 775-783, Dec 2016.
- SOUZA, L. Q. et al. **Bufadienolides from amphibians: A promising source of anticancer prototypes for radical innovation, apoptosis triggering and Na⁺/K⁺-ATPase inhibition.** *Toxicon*, v.127, p. 63-76. 2017.
- SPARLING, D. W.; FELLERS, G. M. Toxicity of two insecticides to California, USA, anurans and its relevance to declining amphibian populations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 28, n. 8, p. 1696-1703, Aug 2009.
- STRONG, R. J. et al. Biospectroscopy reveals the effect of varying water quality on tadpole tissues of the common frog (*Rana temporaria*). **Environmental Pollution**, v. 213, p. 322-337, Jun 2016.
- STRONG, R. J. et al. Biospectroscopy reveals the effect of varying water quality on tadpole tissues of the common frog (*Rana temporaria*). **Environmental Pollution**, v. 213, p. 322-337, Jun 2016.
- TABATABAEI-MALAZY, O. et al. Scientometric study of academic publications on antioxidative herbal medicines in type 2 diabetes mellitus. **Journal of diabetes and metabolic disorders**, v. 15, p. 48-48, 2016.
- TARRANT, J.; ARMSTRONG, A. J. Using predictive modelling to guide the conservation of a critically endangered coastal wetland amphibian. **Journal for Nature Conservation**, v. 21, n. 5, p. 369-381, 2013.
- TENNESSEN, J. B.; PARKS, S. E.; LANGKILDE, T. Traffic noise causes physiological stress and impairs breeding migration behaviour in frogs. **Conservation Physiology**, v. 2, n. 1, 2014.
- TOLEDO, L. F. et al. Rarity as an indicator of endangerment in neotropical frogs. **Biological Conservation**, v. 179, p. 54-62, 2014.

- TRACHANTONG, W. et al. Effects of atrazine herbicide on metamorphosis and gonadal development of *Hoplobatrachus rugulosus*. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v. 7, p. 60-71, 2013.
- UNESCO. **How much does your country invest in R&D?**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>. Acesso em: 19 abr. 2019.
- VENESKY, M. D.; PARRIS, M. J.; STORFER, A. Impacts of *Batrachochytrium dendrobatidis* Infection on Tadpole Foraging Performance. **Ecohealth**, v. 6, n. 4, p. 565-575, December 01 2009.
- VONESH, J. R.; WARKENTIN, K. M. Opposite shifts in size at metamorphosis in response to larval and metamorph predators. **Ecology**, v. 87, n. 3, p. 556-562, 2006. ISSN 0012-9658.
- WAKE, D. B. Declining amphibian populations. **Science**, v. 253, n. 5022, p. 860-860, Aug 1991.
- WANG, M. et al. Effects of nitrate on metamorphosis, thyroid and iodothyronine deiodinases expression in *Bufo gargarizans* larvae. **Chemosphere**, v. 139, p. 402-409, 2015.
- ZAYA, R. M. et al. Atrazine exposure affects growth, body condition and liver health in *Xenopus laevis* tadpoles. **Aquatic Toxicology**, v. 104, n. 3-4, p. 243-253, Aug 2011.

Efeito de múltiplos estressores e declínio populacional de anuros

Guilherme Henrique Carrasco¹, Marcelino Benvindo de Souza², Lia Raquel de Souza Santos¹

¹Laboratório de Biologia Animal (LABAN), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, Brasil

²Laboratório de Mutagênese, UFG

Resumo: O declínio populacional de anuros está ligado principalmente aos efeitos de agentes estressores tais como parasitas, pesticidas, alterações de paisagens ou introdução de espécies não nativas. Normalmente, estudos que avaliam os efeitos de estressores abordam um único componente, fato contrário ao que ocorre na natureza, que na maioria das vezes os animais estão sob efeito de vários agentes simultaneamente. Estudos sobre os efeitos da interação entre os compostos são muito importantes, pois um agente pode potencializar o outro (efeito sinérgico) ou enfraquecer (efeito antagônico), e em algumas ocasiões, não interagir entre si. Neste trabalho, através de uma análise cienciométrica utilizando diferentes bases de dados (ISI Web of Science, Scopus, Pubmed), foram encontrados 1296 artigos que reportavam para o declínio de anuros, contudo, apenas 144 estudos foram selecionados para efeitos interativos. Os efeitos sinérgicos foram os mais comumente encontrados, seguidos pelos antagônicos e apenas pequena parcela dos estudos avaliou estressores que não interagiram entre si. Sobre as classes de estressores, parasitas e pesticidas foram as mais estudadas, sendo as interações clima-parasita e parasita-pesticida as mais estudadas. Assim, chamamos a atenção para que as dinâmicas das interações entre estressores devem ser consideradas durante a elaboração de planos de conservação, uma vez que na natureza esses agentes agem conjuntamente.

Palavras-chave: sapo, efeitos sinérgicos, efeitos antagônicos, ecotoxicologia

Effect of multiple stressors and anuran population decline: a review.

Guilherme Henrique Carrasco¹, Marcelino Benvindo de Souza², Lia Raquel de Souza Santos¹

¹Animal Biology Laboratory (LABAN), Goiano Federal Institute, Rio Verde, GO, Brazil

²Mutagenesis Laboratory, UFG

Abstract: Anuran population decline is mainly related to the effects of stressors such as parasites, pesticides, landscape changes or the introduction of non-native species. Normally, studies evaluating the effects of stressors address a single component, contrary to nature, where most of the time animals are under the influence of several agents simultaneously. Studies on the effects of interaction between compounds are very important, as one agent may potentiate the other (synergistic effect) or weaken (antagonistic effect), and sometimes not interact with each other. In this work, through a scientometric analysis using different databases (ISI Web of Science, Scopus, Pubmed), 1296 articles were found that reported anuran decline, however, only 144 studies were selected for interactive effects. Synergistic effects were the most commonly found, followed by antagonistic effects and only a small portion of the studies evaluated stressors that did not interact with each other. About the stressors classes, parasites and pesticides were the most studied, being the climate-parasite and parasite-pesticide interactions the most studied. Thus, we draw attention to the fact that the dynamics of interactions between stressors should be considered during the elaboration of conservation plans, since in nature these agents act together.

Keyword: frog, synergistic effects, antagonistic effects, ecotoxicology

INTRODUÇÃO

O declínio populacional de anuros tem sido alertado há quase 30 anos (BARINAGA, 1990; WAKE, 1991) e atribuído a uma série de fatores, como as alterações nas paisagens (MOREIRA et al, 2016), doenças (MCMAHON et al, 2013), resíduos industriais (OPONENTE et al, 2007), pesticidas (PEREZ-IGLESIAS et al, 2016) e mudanças climáticas (DE OLIVEIRA et al, 2016). No entanto, embora existam muitos estressores relacionados a esse declínio de espécies, a maioria dos artigos conclui para uma abordagem de estressor agindo de forma isolada. Em contraste, em ambiente natural é provável que os estressores possam agir simultaneamente nos organismos. Desta forma, múltiplos estressores podem desencadear o chamado efeito sinérgico, o que significa interagir entre si, modulando seus efeitos. Assim, dois ou mais estressores em efeito sinérgico serão responsáveis por danos maiores do que quando analisados isoladamente (KLAASSEN; WATKINS, 2012).

Os pesticidas, por exemplo, pode potencializar o efeito de parasitas ao diminuir a resistência do organismo, ocasionando aumento da população de parasita sobre o hospedeiro (HANLON et al, 2015) ou interagir com radiação ultravioleta, aumentando a susceptibilidade do organismo a danos genéticos (YU et al, 2015). Além de pesticidas, outras interações são documentadas, e a exemplo cita-se a relação entre desmatamento e espécies invasoras, em que as espécies invasoras se mostraram mais resistentes a retirada da camada vegetal, se comparadas com as nativas (ADAMS et al, 2017) ou entre estresse térmico e metais pesados, onde o calor torna os animais mais suscetíveis a envenenamento por metais pesados (HALLMAN; BROOKS, 2016).

Contudo, em alguns casos, pode acontecer um processo inverso chamado de efeito antagônico, cujo estressor diminui os efeitos danosos do outro, como por exemplo, o calor extremo ou os pesticidas afetando negativamente o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (ROWLEY; ALFORD, 2013; MCMAHON et al, 2013; GREENSPAN et al, 2017). Concomitantemente uma espécie invasora pode interagir antagonicamente com outra, diminuindo assim o impacto sobre as populações nativas (LIU et al, 2018), ou mesmo um evento de seca prolongada, cujos efeitos danosos sobre os predadores dos anuros, podem ser superiores aos prejuízos sofridos pelas populações de anuros afetadas (AMBURGEY et al, 2014).

Finalmente, partindo da premissa do declínio populacional de anuros em todo o mundo, analisando a literatura especializada para evidenciar o efeito sinérgico ou antagônico dos estressores ambientais. Basicamente buscou-se investigar se as causas do declínio de anuros estão sendo investigadas de forma isolada ou relacionando múltiplos estressores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo três bases de dados foram utilizadas, a ISI Web of Science, Scopus e Pubmed, para rastrear sobre o declínio populacional de anuros. A investigação ocorreu do tempo mais remoto disponível em cada base de dados até dezembro de 2018. Nas buscas dos artigos foram utilizados a combinação das palavras-chave, “*Frog, Decline*”, e contabilizados artigos que abordaram efeitos interativos de dois ou mais estressores, como também os trabalhos que abordaram os efeitos sozinhos. No critério de classificação de estudos para efeito sinérgico, foram considerados aqueles trabalhos que um estressor potencializava o efeito de outro (a letalidade do conjunto é maior que a soma da letalidade das partes). Enquanto os efeitos antagônicos ocorreram quando um estressor inibe a ação do outro. Por fim, também observando aqueles trabalhos cuja ação dos estressores não geravam efeito nos anfíbios.

Os estressores foram classificados como, alterações climáticas, pesticidas, fertilizantes, metais pesados, resíduos industriais (subprodutos de atividade industrial), fármacos (medicamentos), alterações na paisagem (desmatamento, fragmentação, perda de habitats), parasitismo e relações interespecíficas (predação e competição). Além disso, foram compilados o ano de publicação dos trabalhos, e uma correlação de Pearson ($P < 0,05$) foi aplicada para detectar o aumento dos estudos ao longo dos anos. Os estressores foram apresentados por meio da frequência absoluta e relativa. Também foi avaliado o padrão de associação entre as combinações das classes de estressores mais utilizadas, utilizando do programa VOSviewer 1.6.11.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendência temporal de estudos

Um total de 1296 estudos reportou estressores para declínio populacional de anuros publicados desde 1982. Esse número de trabalhos com a temática representa crescimento de trabalhos ao longo de quase trinta anos de pesquisas. Por outro lado, após o refinamento dos dados, apenas 144 estudos foram selecionados para efeitos interativos, que também mostrou aumento temporal a partir de 1995, ano da primeira publicação ($r = 0,93$; $p < 0,0001$; Figura 1).

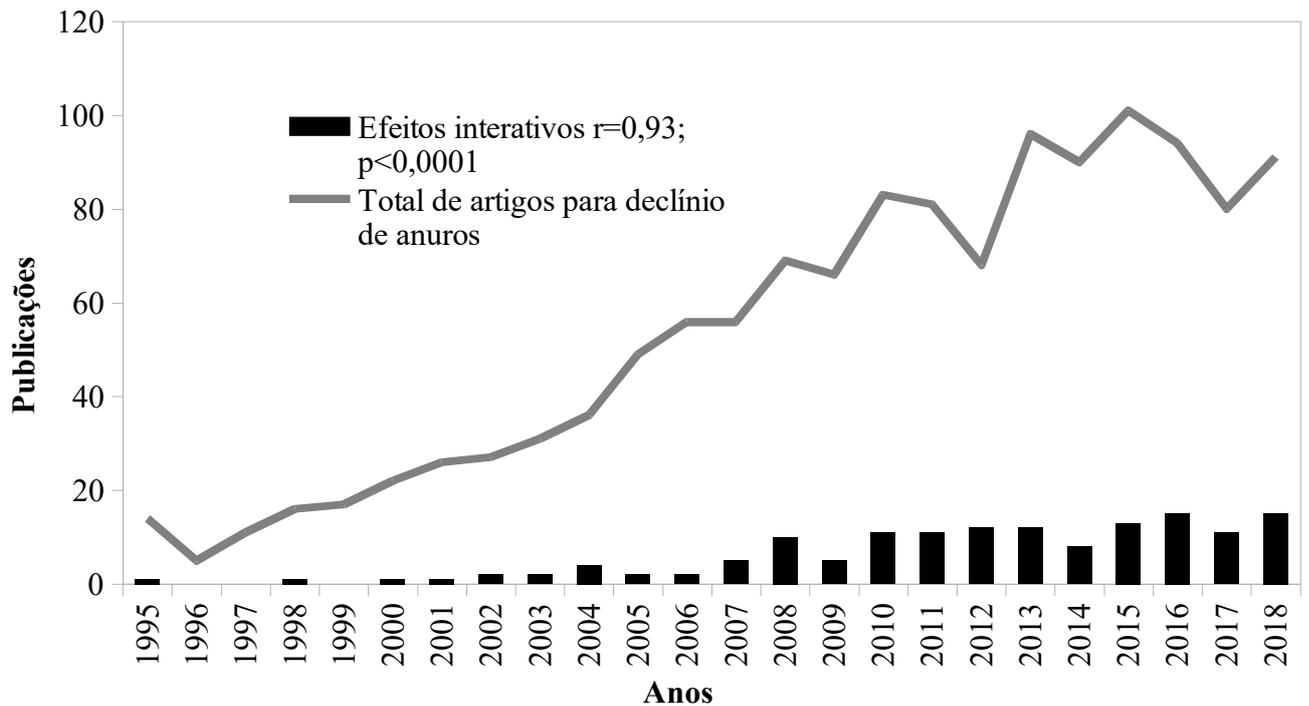


Figura 1: Número de publicações para efeito sinérgico em anuros (em barras), publicados entre 1995 (publicação mais antiga) e 2018. A linha indica tendência do declínio de anuros nos últimos 23 anos.

A figura 2 demonstra a relação de múltiplos agentes, cuja a interação entre estressores ocorreram em 89,58% dos estudos ($n = 129$) enquanto em 10,42% ($n = 15$) não houve nenhum tipo de interação. Dentre os trabalhos que houve interação, 75,96% foram do tipo sinérgicas ($n = 98$), e as demais 24,04% ($n = 31$) foram do tipo antagônicos.

Estes dados mostram que a grande maioria dos estudos experimentais não possuem resultados condizentes com a realidade em ambiente natural (EDGE et al,

2013; MIKO et al 2015), já que eles não levam em conta possíveis efeitos interativos entre estressores, sejam eles sinérgicos ou antagônicos, desta forma, propostas de elaboração de projetos em conservação com tomada de decisões apenas em estudos experimentais poderia não trazer resultados finais expressivos, uma vez que a interação sinérgica dos compostos não foi considerada.

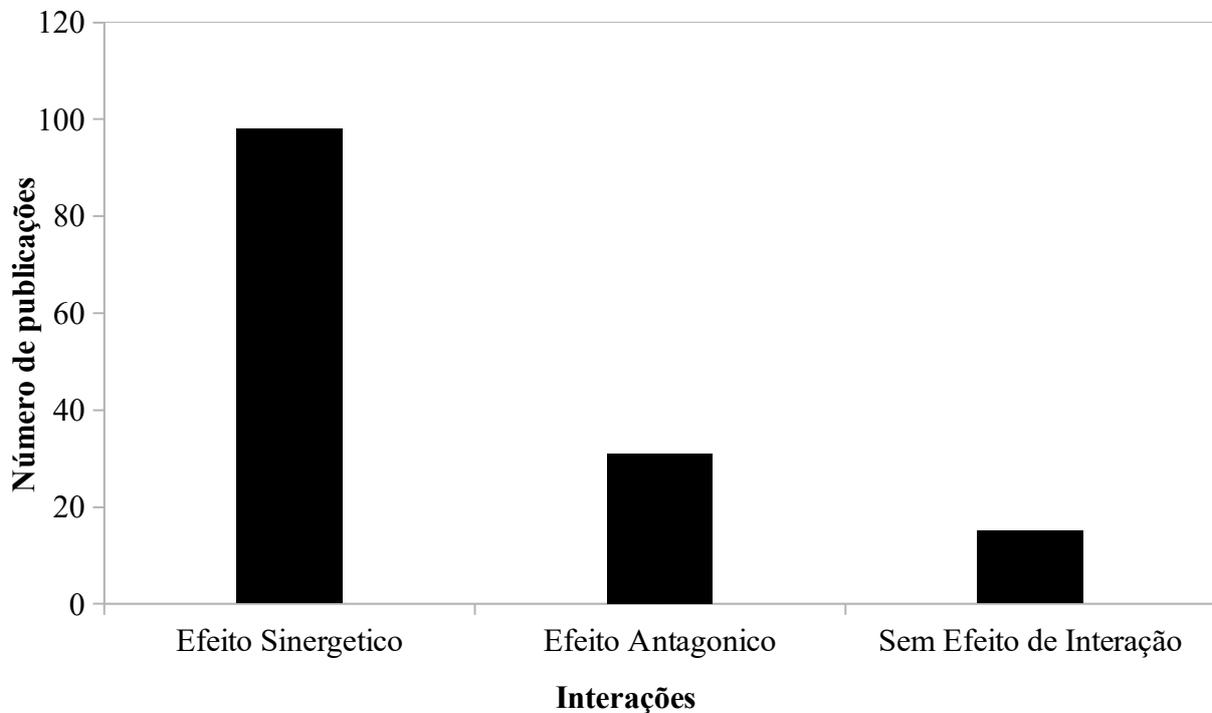


Figura 2: Número de publicações para efeito sinérgico, antagônico e sem efeitos sobre o declínio populacional de anuros.

Quanto ao número de citações de cada classe de estressor encontrado (Figura 3), os parasitas foram os mais estudados 29,60% (111 citações) do total de 375 citações, seguido por pesticidas 27,20% (102 citações) e mudanças climáticas 15,20% (57 citações). O grande número de citações na classe “parasitas”, está ligado aos estudos com o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD), que responde a 56,75% (n = 63) de todos os estudos realizados com parasitas (n = 111), isto ocorre porque o fungo é um agente estressor correlacionado com o declínio populacional de anuros nos últimos anos (LIPS et al, 2006; SKERRATT et al, 2007) e cuja a área de ocorrência aumenta lentamente a cada ano (OLSON et al, 2013; BERGER et al, 2016).

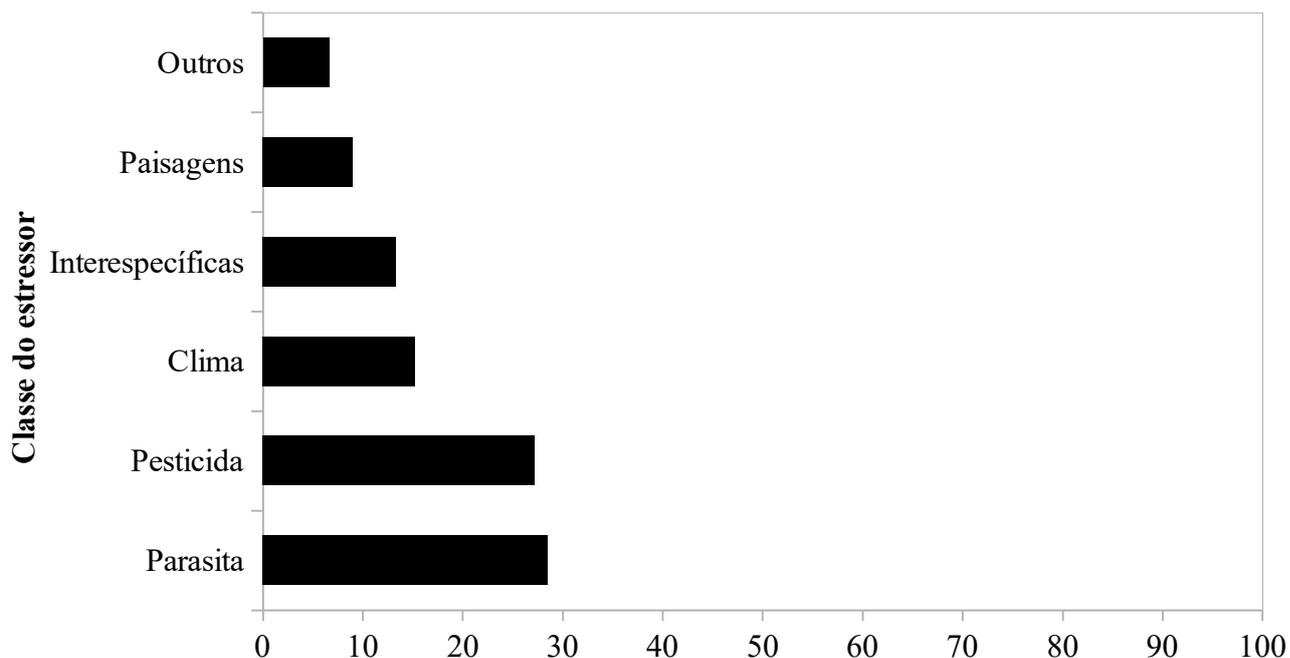


Figura 3: Porcentagem dos estudos (%) sobre as classes de estressores mais estudadas para o declínio mundial de anuros.

A segunda classe mais citada, foi a dos pesticidas, possivelmente pelo fato de serem amplamente usados na agricultura moderna, além de já possuírem diversos efeitos danosos comprovados, como alterações nos embriões, (JI et al, 2016; ALLRAN; KARASOV, 2001), diminuição da imunidade (CHRISTIN et al, 2003, 2004), alterações no processo de metamorfose (BRUNELLI et al, 2009; SPARLING; FELLERS, 2009; CHOUNG et al, 2011), ocorrência de malformações (BORGES et al, 2019), danos hepáticos (ZAYA et al, 2011; BRODEUR et al, 2012) e até mesmo gonadais (MORESCO et al, 2014; TRACHANTONG et al, 2013). A terceira classe mais citada abrange os efeitos de alterações climáticas, em que os estressores climáticos podem ser estudados sozinhos (ROCHA USUGA et al, 2017; MAC NALLY et al, 2017) ou em conjunto com outros estressores, como parasitas (ROWLE; ALFORD, 2013; GREENSPAN et al, 2017).

Quando analisadas as combinações de classes de estressores mais estudadas (Figura 4), variadas conclusões são alcançadas, entre elas a de que cerca de 92,36% dos artigos trabalharam com apenas duas classes de estressores, o restante trabalhou com três classes. As combinações de classes mais comuns foram: parasita e alterações

climáticas que correspondeu a 18,06% (n = 26) de todos os trabalhos (n = 144), parasitas e pesticidas com 16,67% (n = 24), parasitas e relações interespecíficas com 8,33% (n = 12) e parasitas-paisagens com 7,6% (n = 11). Juntos as demais alterações, menos frequentes, somam 49,30 % (n = 71).

Juntos, estudos que utilizaram como um dos estressores os parasitas, corresponderam a 61,11% (n = 88) de todas as interações (n = 144), alterações climáticas em segundo com 40,27% (n = 58), pesticidas em terceiro lugar 37,50% do total (n = 54). É digno de nota que mesmos pesticidas sendo no geral estressores mais citados que alterações climáticas, a existência de estudos que trabalharam com mais de um pesticida simultaneamente faz com que o número de combinações com este estressor seja menor do que o número de combinações com alterações climáticas.

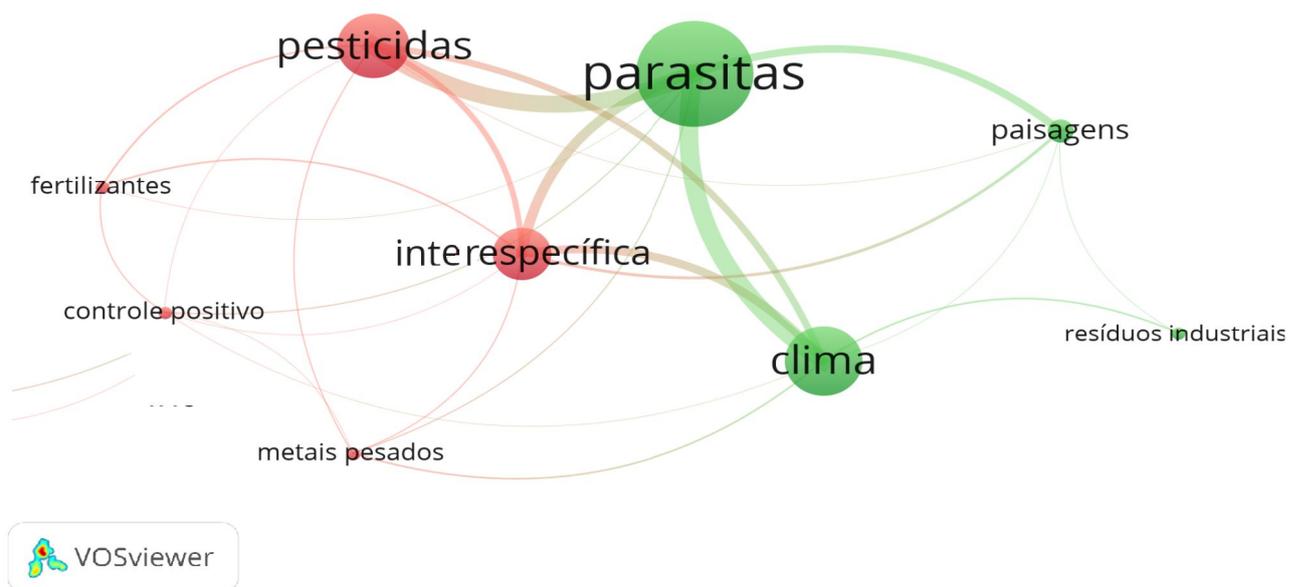


Figura 4: Padrões de associações entre os principais estressores estudados.

A imagem acima utiliza de padrões de associações em que cada esfera representa uma classe de estressor, as linhas representam as combinações entre os estressores, e linhas mais largas representam maior frequência de combinações (Mais detalhes em Apêndice A).

Com 18,05% do total de estudos (n = 26), a combinação Clima-Parasitas foi a mais estudada, desses estudos 73,07% (n = 19) detectaram efeitos sinérgicos, em que fatores como baixas temperaturas (ANDRE et al, 2008; ROHR; RAFFEL, 2010) mostraram-se capazes de afetar positivamente a virulência do fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD), assim como a baixa disponibilidade de água também potencializa o efeito do fungo (LONGO et al, 2013). Enquanto 23,07% dos trabalhos (n = 6) detectaram efeitos antagônicos na interação clima-parasita, em que o calor extremo leva a diminuição do número de esporos do fungo, ocasionando a diminuição das taxas de mortalidades dos anuros (ROWLEY; ALFORD, 2013; FERNÁNDEZ-BEASKOETXEA, 2015).

Dos 144 trabalhos avaliados, estudos com parasita-pesticidas corresponderam a 16,66% (n = 24), e destes, 66,68% (n = 16) estudaram os efeitos sinérgicos. Diversos autores ligaram os efeitos dos pesticidas aos danos ocasionados por parasitas, como por exemplo o efeito do Malation e Trematodas, que segundo este autor, o Malation ocasionou a diminuição da resposta imune, tornando os indivíduos afetados mais suscetíveis a serem infectados (BUDISCHAK et al, 2008). Alterações ainda sinérgicas foram documentadas nos trabalhos de Koprivnikar (2010), no qual indivíduos com parasitas também tiveram diminuição no sistema imune, e como consequência aumentou o efeito letal da Atrazina. Esses mesmos efeitos de diminuição de resposta imune (e aumento da letalidade) foram descritos na associação entre os pesticidas Carbaril e Thiamethoxam com o *Ranavirus* (POCHINI; HOVERMAN, 2017).

Ainda com relação aos estudos parasitas-pesticidas (n = 24), a cerca de 16,66% dos estudos (n = 4) observaram efeitos antagônicos, nos quais embora o Glifosato diminua a resposta imune de *Lithobates sylvaticus* contra o fungo BD, o pesticida mostrou ser mais danoso para o fungo do que para o anuro, de forma que a aplicação do pesticida melhorou as condições dos animais sujeitos à infecção (GAHL et al, 2011). O mesmo tipo de interação (parasita-pesticidas) foi relatado para os efeitos do pesticida Atrazina (herbicida) e Cloratonil (composto antifúngico), em que houve a redução da população de fungos tanto no ambiente como nos anuros (ROHR et al, 2017). Estudos que não relataram nenhum efeito interativo corresponderam a 16,66% (n = 4) dos artigos (n = 24). Dentre eles, o que mais se destacou foi o trabalho de Edge et al. (2013), mostrando que o glifosato não interagiu com o fungo BD para indivíduos de *Lithobates*

clamitans e *Lithobates pipiens*. Em outro trabalho não foi encontrada nenhuma interação entre o pesticida Carbaril e o fungo BD, e embora os pesticidas tivessem diminuído o número de peptídeos com efeito antifúngico na pele de *Rana boylei*, não houve alteração nas taxas de mortalidade das rãs (DAVIDSON et al, 2007). Esta aparente contradição só mostra que a mesma combinação de estressores pode interagir de diferentes formas dependendo da espécie, ou da resistência dos parasitas aos pesticidas. Desta forma, fica explícito que mais estudos são necessários para melhor compreensão das nuances das interações entre estressores.

A terceira combinação mais utilizada foi relações interespecíficas e parasitas com 8,33% (n = 12) de todos os trabalhos (n = 144), e, no geral houve predomínio de relações sinérgicas, que ocorreu em 58,33% (n = 7) dos estudos (n = 12). Esta relação ocorre principalmente pela capacidade de algumas espécies invasoras como a *Lithobates castesbeianus* ou a *Xenopus laevis* (SOTO-AZAT et al, 2016; YAP et al, 2018) servirem de reservatórios para parasitas como o *Ranavirus* ou BD. Contudo, em 41,67% desses trabalhos (n = 5) foram detectados efeitos antagônicos, sobretudo em estudos envolvendo bactérias presentes na pele dos anuros, e foi demonstrado que elas podem aumentar a resistência dos indivíduos a infecções fúngicas, inclusive do BD (BELL et al, 2018; ELLISON et al, 2018).

A outra combinação evidenciada entre paisagens-parasitas, com 8,33% (n = 12), demonstrou que as interações sinérgicas responderam a 50% (n = 6) dos trabalhos (n = 12). Estas interações estão ligadas a pesquisas como a de King (2010) que evidenciou que embora ambientes agrícolas diminuam a diversidade de parasitas em anuros, o efeito das espécies de parasitas que persistem ainda é maior. Já os artigos que relataram efeitos antagônicos, responderam a 50% (n = 6), e neles foi demonstrada relação oposta do fungo BD com atividade agrícola e desmatamento (VAN SLUYS, 2009; BEYER et al, 2015), esta relação, provavelmente ocorre pela remoção da cobertura vegetal, que ao expor os indivíduos infectados ao calor e baixa umidade, diminuiriam a virulência do fungo (ROWLEY; ALFORD, 2013; TERRELL et al, 2014).

CONCLUSÃO

A tendência é que múltiplos estressores não apenas interajam entre si, mas que estas interações potencializem os efeitos desses danos (efeito sinérgico), sobre os

organismos não alvos. Dessa forma, os dados mostram que estudos realizados em laboratório na maioria das vezes não condizem com a realidade no meio ambiente, onde vasta gama de compostos químicos e ecológicos estão disponíveis.

Sobre os estudos que mostraram efeitos antagônicos, chamando a atenção que estes também podem ser utilizados para elaboração de estratégias de conservação, por exemplo, na introdução artificial de estressores para combater um outro estressor (como uma espécie invasora).

Deve-se também atentar ao fato que alguns fatores de estresse sempre ocorrem em conjunto, por exemplo, a prática de agricultura, que leva o uso de pesticidas e a remoção da cobertura vegetal, e somado ao fato de que não é possível prever os efeitos de combinações de estressores, demonstram a importância que estes estudos possuem para a criação de estratégias de conservação.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, A. J. et al. Extreme drought, host density, sex, and bullfrogs influence fungal pathogen infection in a declining lotic amphibian. **Ecosphere**, v. 8, n. 3, Mar 2017.
- AGOSTINI, M.; BURROWES, P. Infection patterns of the chytrid fungus, *Batrachochytrium dendrobatidis*, on anuran assemblages in agro-ecosystems from Buenos Aires Province, Argentina. **Phyllomedusa: Journal of Herpetology**, v. 14, n. 2, p. 113-126, 29 dez. 2015.
- ALLRAN, J. W.; KARASOV, W. H. Effects of atrazine on embryos, larvae, and adults of anuran amphibians. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 769-775, 2001.
- AMBURGEY, S. M. et al. The effects of hydropattern and predator communities on amphibian occupancy. *Canadian Journal of Zoology*, v. 92, n. 11, p. 927-937, Nov 2014.
- ANDRE, S. E.; PARKER, J.; BRIGGS, C. J. Effect of temperature on host response to *batrachochytrium dendrobatidis* infection in the mountain yellow-legged frog (*Rana muscosa*). **Journal of Wildlife Diseases**, v. 44, n. 3, p. 716-720, 2008.

- BACH, N. C. et al. Effects of glyphosate and its commercial formulation, Roundup (R) Ultramax, on liver histology of tadpoles of the neotropical frog, *Leptodactylus latrans* (amphibia: Anura). **Chemosphere**, v. 202, p. 289-297, Jul 2018.
- BARINAGA, M. Where have all the froggies gone. **Science**, v. 247, n. 4946, p. 1033-1034, Mar 1990. ISSN 0036-8075.
- BARRETT, K.; GUYER, C.; WATSON, D. Water from Urban Streams Slows Growth and Speeds Metamorphosis in Fowler's Toad (*Bufo fowleri*) Larvae. **Journal of Herpetology**, v. 44, n. 2, p. 297-300, 2010.
- BELL, S. C.; GARLAND, S.; ALFORD, R. A. Increased Numbers of Culturable Inhibitory Bacterial Taxa May Mitigate the Effects of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Australian Wet Tropics Frogs. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, Jul 2018.
- BERGER, L. et al. History and recent progress on chytridiomycosis in amphibians. **Fungal Ecology**, v. 19, p. 89-99, 2016.
- BEYER, S. E.; PHILLIPS, C. A.; SCHOOLEY, R. L. Canopy cover and drought influence the landscape epidemiology of an amphibian chytrid fungus. **Ecosphere**, v. 6, n. 5, May 2015.
- BLAUSTEIN, A. R.; WAKE, D. B. Declining amphibian populations – a global phenomenon. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 5, n. 7, p. 203-204, Jul 1990.
- BONCOMPAGNI, E. et al. Toxicity of chromium and heptachlor epoxide on liver of *Rana kl. esculenta*: a morphological and histochemical study. **Italian Journal of Zoology**, v. 71, p. 163-167, 2004.
- BORGES, R. E. et al. Monitoring the morphological integrity of neotropical anurans. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 3, p. 2623-2634, 2019.
- BORZEE, A. E. L. et al. Introduced bullfrogs are associated with increased *Batrachochytrium dendrobatidis* prevalence and reduced occurrence of Korean treefrogs. **Plos One**, v. 12, n. 5, May 2017.
- BRANNELLY, L. A. et al. Effects of chytridiomycosis on hematopoietic tissue in the spleen, kidney and bone marrow in three diverse amphibian species. **Pathogens and Disease**, v. 74, n. 7, 2016.

- BRIDGES, C. M.; BOONE, M. D. The interactive effects of UV-B and insecticide exposure on tadpole survival, growth and development. **Biological Conservation**, v. 113, n. 1, p. 49-54, Sep 2003
- BRODEUR, J. C. et al. Evidence of Reduced Feeding and Oxidative Stress in Common Tree Frogs (*Hypsiboas pulchellus*) from an Agroecosystem Experiencing Severe Drought. **Journal of Herpetology**, v. 46, n. 1, p. 72-78, Mar 2012.
- BRUNELLI, E. et al. Environmentally relevant concentrations of endosulfan impair development, metamorphosis and behaviour in *Bufo bufo* tadpoles. **Aquatic Toxicology**, v. 91, n. 2, p. 135-142, Jan 2009.
- BUCCIARELLI, G. M. et al. Invasion Complexities: The Diverse Impacts of Nonnative Species on Amphibians. **Copeia**, n. 4, p. 611-632, Dec 2014.
- BUDISCHAK, S. A.; BELDEN, L. K.; HOPKINS, W. A. Effects of malathion on embryonic development and latent susceptibility to trematode parasites in ranid tadpoles. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 27, n. 12, p. 2496-2500, 2008.
- BUSTAMANTE, H. M.; LIVO, L. J.; CAREY, C. Effects of temperature and hydric environment on survival of the Panamanian Golden Frog infected with a pathogenic chytrid fungus. **Integrative Zoology**, v. 5, n. 2, p. 143-153, Jun 2010.
- CASELTINE, J. S.; RUMSCHLAG, S. L.; BOONE, M. D. Terrestrial Growth in Northern Leopard Frogs Reared in the Presence or Absence of Predators and Exposed to the Amphibian Chytrid Fungus at Metamorphosis. **Journal of Herpetology**, v. 50, n. 3, p. 404-408, Sep 2016.
- CHOUNG, C. B. et al. Developmental toxicity of two common corn pesticides to the endangered southern bell frog (*Litoria raniformis*). **Environmental Pollution**, v. 159, n. 10, p. 2648-2655, Oct 2011.
- CHRISTIN, M. S. et al. Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Rana pipiens* and on its resistance to parasitic infection. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, n. 5, p. 1127-1133, May 2003.
- CHRISTIN, M. S. et al. Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Xenopus laevis* and *Rana pipiens*. **Aquatic Toxicology**, v. 67, n. 1, p. 33-43, Mar 2004.

- DAVIDSON, C. et al. Effects of Chytrid and Carbaryl Exposure on Survival, Growth and Skin Peptide Defenses in Foothill Yellow-legged Frogs. **Environmental Science & Technology**, v. 41, n. 5, p. 1771-1776, Mar 2007.
- DE GREGORIO, L. S. et al. Flutamide effects on morphology of reproductive organs and liver of Neotropical Anura, *Rhinella schneideri*. **Aquatic Toxicology**, v. 176, p. 181-189, Jul 2016.
- DE OLIVEIRA, I. S.; RODDER, D.; TOLEDO, L. F. Potential worldwide impacts of sea level rise on coastal-lowland anurans. **North-Western Journal of Zoology**, v. 12, n. 1, p. 91-101, Jun 2016.
- EDGE, C. B. et al. Laboratory and field exposure of two species of juvenile amphibians to a glyphosate-based herbicide and *Batrachochytrium dendrobatidis*. **Science of the Total Environment**, v. 444, p. 145-152, 2013.
- ELLISON, S. et al. Reduced skin bacterial diversity correlates with increased pathogen infection intensity in an endangered amphibian host. **Molecular Ecology**, 2018.
- ETEROVICK, P. C. et al. Isolated frogs in a crowded world: Effects of human-caused habitat loss on frog heterozygosity and fluctuating asymmetry. **Biological Conservation**, v. 195, p. 52-59, 2016.
- FERNÁNDEZ-BEASKOETXEA, S. et al. Short term minimum water temperatures determine levels of infection by the amphibian chytrid fungus in *Alytes obstetricans* tadpoles. **Plos One**, v. 10, n. 3, 2015.
- FONG, P. P. et al. Long-term exposure to gold nanoparticles accelerates larval metamorphosis without affecting mass in wood frogs (*Lithobates sylvaticus*) at environmentally relevant concentrations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 9, p. 2304-2310, 2016.
- FURMAN, B. L. S. et al. Limited genetic structure in a wood frog (*Lithobates sylvaticus*) population in an urban landscape inhabiting natural and constructed wetlands. **Conservation Genetics**, v. 17, n. 1, p. 19-30, February 01 2016.
- GAHL, M. K.; PAULI, B. D.; HOULAHAN, J. E. Effects of chytrid fungus and a glyphosate-based herbicide on survival and growth of wood frogs (*Lithobates sylvaticus*). **Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2521-2529, 2011.

- GIBBLE, R. E.; BAER, K. N. Effects of atrazine, agricultural runoff, and selected effluents on antimicrobial activity of skin peptides in *Xenopus laevis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 4, p. 593-599, Maio 2011.
- GILLESPIE, G. R. et al. Rapid decline and extinction of a montane frog population in southern Australia follows detection of the amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis*. **Animal Conservation**, v. 18, n. 3, p. 295-302, 2015.
- GREENBERG, D. A.; GREEN, D. M. Effects of an invasive plant on population dynamics in toads. **Conserv Biol**, v. 27, n. 5, p. 1049-57, Oct 2013.
- GREENSPAN, S. E. et al. Realistic heat pulses protect frogs from disease under simulated rainforest frog thermal regimes. **Functional Ecology**, v. 31, n. 12, p. 2274-2286, Dec 2017.
- GREENSPAN, S. E. et al. Transmission of *Batrachochytrium dendrobatidis* to wood frogs (*Lithobates sylvaticus*) via a bullfrog (*L. catesbeianus*) vector. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 48, n. 3, p. 575-582, Jul 2012.
- HALLMAN, T. A.; BROOKS, M. L. Metal-mediated climate susceptibility in a warming world: Larval and latent effects on a model amphibian. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 35, n. 7, p. 1872-1882, Jul 2016.
- HANLON, S. M. et al. The effects of a fungicide and chytrid fungus on anuran larvae in aquatic mesocosms. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 17, p. 12929-12940, Sep 2015.
- KLAASSEN, C.D.; WATKINS, J.B.; **Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull (Lange)**. 2 a ed, Brasil: McGraw Hill. 2012.
- JI, Q. C. et al. Atrazine and malathion shorten the maturation process of *Xenopus laevis* oocytes and have an adverse effect on early embryo development. **Toxicology in Vitro**, v. 32, p. 63-69, Apr 2016.
- KING, K. C. et al. Effects of agricultural landscape and pesticides on parasitism in native bullfrogs. **Biological Conservation**, v. 143, n. 2, p. 302-310, Feb 2010.
- KOPONEN, P. S.; TUIKKA, A.; KUKKONEN, J. V. K. Effects of ultraviolet-B radiation and larval growth on toxicokinetics of waterborne bisphenol A in common frog (*Rana temporaria*) larvae. **Chemosphere**, v. 66, n. 7, p. 1323-1328, Jan 2007.

- KOPRIVNIKAR, J. Interactions of environmental stressors impact survival and development of parasitized larval amphibians. **Ecological Applications**, v. 20, n. 8, p. 2263-2272, 2010.
- LIPS, K. R. et al. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 9, p. 3165-3170, Feb 2006.
- LIU, X. et al. Diet and Prey Selection of the Invasive American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Southwestern China. **Asian Herpetological Research**, v. 6, n. 1, p. 34-44, Mar 2015.
- LIU, X. et al. More invaders do not result in heavier impacts: The effects of non-native bullfrogs on native anurans are mitigated by high densities of non-native crayfish. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 3, p. 850-862, 2018.
- LONGO, A. V. et al. Liability in host defenses: Terrestrial frogs die from chytridiomycosis under enzootic conditions. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 49, n. 1, p. 197-199, 2013.
- MAC NALLY, R.; HORROCKS, G. F. B.; LADA, H. Anuran responses to pressures from high-amplitude drought–flood–drought sequences under climate change. **Climatic Change**, v. 141, n. 2, p. 243-257, 2017.
- MCMAHON, T. A.; ROMANSIC, J. M.; ROHR, J. R. Nonmonotonic and Monotonic Effects of Pesticides on the Pathogenic Fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in Culture and on Tadpoles. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 14, p. 7958-7964, Jul 2013.
- MIKO, Z. et al. Choice of experimental venue matters in ecotoxicology studies: Comparison of a laboratory-based and an outdoor mesocosm experiment. **Aquatic Toxicology**, v. 167, p. 20-30, Oct 2015.
- MORAIS, A. R. et al. Unraveling the conservation status of data deficient species. **Biological Conservation**, v. 166, p. 98-102, 2013.
- MOREIRA, L. F. B. et al. Effects of exotic pastures on tadpole assemblages in Pantanal floodplains: assessing changes in species composition. **Amphibia-Reptilia**, v. 37, n. 2, p. 179-190, 2016.
- MORESCO, R. M.; MARGARIDO, V. P.; DE OLIVEIRA, C. A persistent organic pollutant related with unusual high frequency of hermaphroditism in the

- neotropical anuran *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826. **Environmental Research**, v. 132, p. 6-11, Jul 2014.
- OLSON, D. H. et al. Mapping the Global Emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the Amphibian Chytrid Fungus. **Plos One**, v. 8, n. 2, 2013.
- PEREZ-IGLESIAS, J. M. et al. Effects of glyphosate on hepatic tissue evaluating melanomacrophages and erythrocytes responses in neotropical anuran *Leptodactylus latinasus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 10, p. 9852-9861, May 2016.
- PILLARD, D. A. et al. Effects of 3-Nitro-1,2,4-triazol-5-one on Survival, Growth and Metamorphosis in the Northern Leopard Frog, *Lithobates pipiens*. **Ecotoxicology**, v. 26, n. 9, p. 1170-1180, November 01 2017.
- POCHINI, K. M.; HOVERMAN, J. T. Reciprocal effects of pesticides and pathogens on amphibian hosts: The importance of exposure order and timing. **Environmental Pollution**, v. 221, p. 359-366, Feb 2017.
- POTVIN, D. A. et al. Genetic erosion and escalating extinction risk in frogs with increasing wildfire frequency. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 3, p. 945-954, 2017.
- PRÖHL, H.; KRUG, A. Population genetics in a fragmented population of the European tree frog (*Hyla arborea*). **Amphibia Reptilia**, v. 34, n. 1, p. 95-107, 2013.
- PUGLIS, H. J.; BOONE, M. D. Effects of Technical-Grade Active Ingredient vs. Commercial Formulation of Seven Pesticides in the Presence or Absence of UV Radiation on Survival of Green Frog Tadpoles. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 60, n. 1, p. 145-155, Jan 2011.
- RESHETNIKOV, A. N. et al. Detection of the emerging amphibian pathogens *Batrachochytrium dendrobatidis* and ranavirus in Russia. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 110, n. 3, p. 235-240, 2014.
- ROCHA USUGA, A. A.; VARGAS-SALINAS, F.; RUEDA SOLANO, L. A. Not every drought is bad: quantifying reproductive effort in the harlequin frog *Atelopus laetissimus* (Anura: Bufonidae). **Journal of Natural History**, v. 51, n. 31-32, p. 1913-1928, 2017.
- ROHR, J. R. et al. A pesticide paradox: Fungicides indirectly increase fungal infections. **Ecological Applications**, v. 27, n. 8, p. 2290-2302, 2017.

- ROHR, J. R.; RAFFEL, T. R. Linking global climate and temperature variability to widespread amphibian declines putatively caused by disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 18, p. 8269-8274, 2010.
- ROWLEY, J. J. L.; ALFORD, R. A. Hot bodies protect amphibians against chytrid infection in nature. **Scientific Reports**, v. 3, Mar 2013.
- SAVAGE, A. E.; BECKER, C. G.; ZAMUDIO, K. R. Linking genetic and environmental factors in amphibian disease risk. **Evolutionary Applications**, v. 8, n. 6, p. 560-572, Jul 2015.
- SKERRATT, L. F. et al. Spread of chytridiomycosis has caused the rapid global decline and extinction of frogs. **Ecohealth**, v. 4, n. 2, p. 125-134, 2007.
- SOTO-AZAT, C. et al. Xenopus laevis and Emerging Amphibian Pathogens in Chile. **Ecohealth**, v. 13, n. 4, p. 775-783, Dec 2016.
- SPARLING, D. W.; FELLERS, G. M. Toxicity of two insecticides to California, USA, anurans and its relevance to declining amphibian populations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 28, n. 8, p. 1696-1703, Aug 2009.
- ST-AMOUR, V. et al. Effects of Two Amphibian Pathogens on the Developmental Stability of Green Frogs. **Conservation Biology**, v. 24, n. 3, p. 788-794, Jun 2010.
- STRONG, R. J. et al. Biospectroscopy reveals the effect of varying water quality on tadpole tissues of the common frog (*Rana temporaria*). **Environmental Pollution**, v. 213, p. 322-337, Jun 2016.
- TERRELL, V. C. K. et al. Drought reduces chytrid fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*) infection intensity and mortality but not prevalence in adult crawfish frogs (*Lithobates areolatus*). **Journal of Wildlife Diseases**, v. 50, n. 1, p. 56-62, Jan 2014.
- TOLEDO, L. F. et al. Rarity as an indicator of endangerment in neotropical frogs. **Biological Conservation**, v. 179, p. 54-62, 2014.
- TRACHANTONG, W. et al. Effects of atrazine herbicide on metamorphosis and gonadal development of *Hoplobatrachus rugulosus*. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v. 7, p. 60-71, 2013.

- VAN SLUYS, M.; HERO, J. M. How Does Chytrid Infection Vary Among Habitats? The Case of *Litoria wilcoxii* (Anura, Hylidae) in SE Queensland, Australia. **Ecohealth**, v. 6, n. 4, p. 576-583, Dec 2009.
- VENESKY, M. D.; PARRIS, M. J.; STORFER, A. Impacts of *Batrachochytrium dendrobatidis* Infection on Tadpole Foraging Performance. **Ecohealth**, v. 6, n. 4, p. 565-575, December 01 2009.
- VONESH, J. R.; WARKENTIN, K. M. Opposite shifts in size at metamorphosis in response to larval and metamorph predators. **Ecology**, v. 87, n. 3, p. 556-562, 2006.
- WAKE, D. B. Declining amphibian populations. **Science**, v. 253, n. 5022, p. 860-860, Aug 1991.
- WANG, M. et al. Effects of nitrate on metamorphosis, thyroid and iodothyronine deiodinases expression in *Bufo gargarizans* larvae. **Chemosphere**, v. 139, p. 402-409, Nov 2015.
- YAP, T. A. et al. Introduced bullfrog facilitates pathogen invasion in the western United States. **PLoS One**, v. 13, n. 4, p. e0188384, 2018.
- YU, S. Y. et al. Interactive effects of ultraviolet-B radiation and pesticide exposure on DNA photo-adduct accumulation and expression of DNA damage and repair genes in *Xenopus laevis* embryos. **Aquatic Toxicology**, v. 159, p. 256-266, Feb 2015.
- YU, S. Y. et al. Joint effects of pesticides and ultraviolet-B radiation on amphibian larvae. **Environmental Pollution**, v. 207, p. 248-255, Dec 2015.
- ZAYA, R. M. et al. Atrazine exposure affects growth, body condition and liver health in *Xenopus laevis* tadpoles. **Aquatic Toxicology**, v. 104, n. 3-4, p. 243-253, Aug 2011.
- ZUKAL, J.; PIKULLA, J.; BANDOUCHOVA, H. Bats as bioindicators of heavy metal pollution: history and prospect. **Mammalian Biology**, v. 80, p. 220-227, 2015.

CONCLUSÃO GERAL

Faz quase trinta anos, desde que a comunidade científica detectou o declínio populacional dos anuros, durante este tempo, ficou claro que o declínio está atrelado a atividades antrópicas. Isto fica demonstrado pelos resultados desse trabalho, tais como utilização de pesticidas, a alteração de paisagens e introdução de espécies invasoras; sobretudo de peixes e anuros invasores.

Além disso, o ataque do fungo *Batrachochytrium dendrobatidis*, que está indiretamente ligado a ação humana, interage sinergicamente com vários estressores antrópicos, como pesticidas, alterações climáticas ou de paisagens, e espécies introduzidas como a *Lithobates catesbeianus*, que foi demonstrada pode servir como reservatório para esporos do fungo.

Portanto, com os dados coletados neste trabalho, pode-se concluir que o declínio populacional de anuros é causado por ação antrópica, pelo fato que os estressores estudados estão diretos ou indiretamente ligados a ações humanas. Também se chega a conclusão, que os estressores tendem a potencializar seus efeitos quando em conjunto (efeitos sinérgicos).

Além disso, verificou-se que os centros de pesquisas que trabalham com a temática, tendem a ficar distantes de áreas com grande biodiversidade, e que espécies que apresentam real risco de extinção são menos estudadas que as espécies mais

comuns. Assim, apontando estas lacunas de conhecimento para melhor elucidar aspectos relacionados ao declínio dos anuros, e encorajando estudos que considerem uma avaliação com múltiplos estressores para então traçar estratégias de conservação eficientes.

APÊNDICE

| CLASSES | TOTAL | SINERGÉTICOS | ANTAGÔNICOS | SEM EFEITO |
|---|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| CLIMA/ PARASITA | 26 | 19 | 6 | 1 |
| PARASITAS/ PESTICIDAS | 24 | 16 | 4 | 4 |
| INTRAESPECÍFICA/ PARASITAS | 12 | 10 | 2 | 0 |
| PAISAGENS/ PARASITAS | 12 | 6 | 6 | 0 |
| CLIMA/ INTRAESPECÍFICA | 10 | 6 | 4 | 0 |
| CLIMA/ PESTICIDAS | 10 | 7 | 1 | 2 |
| INTRAESPECÍFICA/ PESTICIDAS | 7 | 5 | 1 | 1 |
| INTRAESPECÍFICA/ PAISAGENS | 5 | 2 | 0 | 3 |
| PARASITAS/ PARASITAS | 4 | 3 | 1 | 0 |
| PESTICIDAS/ PESTICIDAS | 4 | 4 | 0 | 0 |
| CLIMA/ RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 3 | 3 | 0 | 0 |
| FERTILIZANTES/ INTRAESPECÍFICA | 2 | 1 | 0 | 1 |
| FERTILIZANTES/ PESTICIDAS | 2 | 1 | 0 | 1 |
| FERTILIZANTES/ CONTROLE POSITIVO | 2 | 1 | 1 | 0 |
| CLIMA/ METAIS PESADOS/ INTRAESPECÍFICA | 2 | 2 | 0 | 0 |
| CLIMA/ CLIMA | 1 | 0 | 1 | 0 |
| CLIMA/ METAIS PESADOS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CLIMA/ PAISAGENS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CLIMA/ CONTROLE POSITIVO | 1 | 1 | 0 | 0 |
| FERTILIZANTES/ PARASITAS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| INTRAESPECÍFICA/ INTRAESPECÍFICA | 1 | 0 | 1 | 0 |
| METAIS PESADOS/ PARASITAS | 1 | 0 | 1 | 0 |
| METAIS PESADOS/ PESTICIDAS | 1 | 0 | 0 | 1 |
| METAIS PESADOS/ CONTROLE POSITIVO | 1 | 1 | 0 | 0 |
| PAISAGENS/ RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CLIMA/ INTRAESPECÍFICA/ PARASITAS | 1 | 0 | 1 | 0 |
| CLIMA/ PARASITAS/ INTRAESPECÍFICA | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CLIMA/ PARASITAS/ PESTICIDAS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CONTROLE POSITIVO/ PARASITAS/ PESTICIDAS | 1 | 0 | 0 | 1 |
| FERTILIZANTES/ INTRAESPECÍFICA/ PESTICIDAS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| METAIS PESADOS/ PESTICIDAS/ PARASITAS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| PAISAGENS/ PARASITAS/ PESTICIDAS | 1 | 1 | 0 | 0 |
| PARASITAS/ PESTICIDAS/ INTRAESPECÍFICA | 1 | 1 | 0 | 0 |
| PARASITAS/ CONTROLE POSITIVO/ INTRAESPECÍFICA | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 144 | 99 | 30 | 15 |

APÊNDICE A