

Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros

Climate change and its impacts on Brazilian amphibians

Thais R. N. Costa¹, Ana C. O. Q. Carnaval², Luís Felipe Toledo^{3,*}

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Zoologia, Laboratório de Dinâmicas Ecológicas

²City University of New York, City College of New York, Department of Biology

³Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Museu de Zoologia "Prof. Adão José Cardoso"

Resumo. A alteração das condições climáticas do planeta terá consequências diretas sobre animais ectotérmicos tais como os anfíbios. Neste estudo, realizamos um exercício de modelagem correlativa baseada em nicho climático para prever mudanças na distribuição de alguns anfíbios dos principais biomas brasileiros, assim como uma espécie de ampla distribuição (*Eupemphix nattereri*), face às alterações climáticas esperadas para os próximos 90 anos. Apresentamos e discutimos observações que revelam outras formas de influência do aquecimento global sobre o sucesso reprodutivo, qualidade de micro-habitats, e interações entre anfíbios e seus patógenos. **Palavras-chave.** Mudanças climáticas, anfíbios, biogeografia, declínio populacional.

Abstract. Global climate change is expected to strongly affect ectotherms species such as amphibians. Based on climate-based correlative models of species distribution, we predict range shifts in some of the main Brazilian biomes, as well as in a widely distributed species (*Eupemphix nattereri*), assuming climatic projections for the next 90 years. We also present and discuss observations that reveal other ways in which global warming can impact amphibian recruitment success, microhabitat quality, and host-pathogen interactions.

Keywords. Climate change, amphibians, biogeography, population decline.

Dados do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima demonstram que a concentração atmosférica global de dióxido de carbono, medida em 2005, ultrapassou em muito a média dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). Não surpreende, assim, a observação de que 11 entre os últimos 12 anos estão entre os mais quentes desde 1850. Previsões para o início do século XXII sugerem um aumento da temperatura média global entre 1,8 e 4°C, a depender do cenário escolhido (IPCC, 2007). Este processo de modificação climática, que inclui não somente incrementos na temperatura, mas também extremos climáticos em escala global, é popularmente referido como aquecimento global. Estudos demonstram que este fenômeno tem sérias implicações diretas e indiretas sobre os fatores abióticos (e.g., clima, água e solo) e em todos os níveis tróficos da biota terrestre (Pounds e col., 2007).

Animais ectotérmicos (ou seja, aqueles que são incapazes de controlar fisiologicamente a temperatura corporal; Grzimek, 2003) são altamente suscetíveis a alterações climáticas. Trata-se do caso dos anfíbios. Extremos de temperatura podem afetar o metabolismo desses animais de forma direta e indireta, afetando, por exemplo, o tempo de metamorfose (Newman, 1998), a taxa de ventilação (Kruhøffer e col., 1987), a susceptibilidade a infecções (Raffel e col., 2006) e a taxa de consumo de alimentos (Braga e col., 2001). A temperatura do ambien-

te pode também influir no comportamento dos anuros, interferindo na frequência e taxa de repetição de vocalizações (Sullivan e Malmos, 1994, Giacoma e col., 1997, Navas e Bevier 2001, Guimarães e Bastos, 2003, Lingnau e Bastos, 2007; Haddad e col., 2008). Alterações nas características físicas dos cantos, por sua vez, podem dificultar o reconhecimento intraespecífico e interferir nas relações territoriais entre machos e identificação de parceiros sexuais. Mudanças na taxa de repetição dos cantos podem implicar em perda energética, uma vez que a vocalização é considerada um dos maiores gastos energéticos dentre os vertebrados (Wells, 2007).

A distribuição geográfica das espécies de anfíbios é também amplamente afetada pela temperatura (Araújo e col., 2006, Cassemiro e col., 2012). Na Mata Atlântica, acredita-se que alterações climáticas futuras resultarão em mudanças nas áreas de distribuição de muitas espécies de anfíbios (Haddad e col., 2008). Este fato é alarmante, especialmente tendo em vista que os anfíbios são hoje os vertebrados mais ameaçados do planeta (Hoffmann e col., 2010).

Uma das principais ferramentas hoje empregadas em estudos da distribuição potencial de espécies é a modelagem de nicho ecológico, em particular aquelas que utilizam modelos correlativos de máxima entropia (MaxEnt; Phillips e col., 2006). Essa técnica utiliza as caracte-

Contato do autor:

toledolf2@yahoo.com

Recebido 10abr11

Aceito 28fev12

Publicado 21jun12

rísticas climáticas das várias localidades de coleta de uma dada espécie (obtidas via trabalho de campo ou pesquisa em coleções biológicas) para inferir o nicho climático da mesma e, através de uma projeção espacial, prever a distribuição potencial do organismo de interesse no espaço geográfico. Para tanto, MaxEnt requer a identificação de pontos onde a espécie-alvo está presente, bem como capas bioclimáticas que descrevam variáveis ambientais de potencial relevância biológica, incluindo medidas de tendência central e de dispersão da temperatura e precipitação (Phillips e col., 2006).

Para ilustrar a utilidade dessas técnicas e discutir alguns possíveis impactos das alterações climáticas previstas nos próximos 90 anos sobre os anfíbios brasileiros, apresentamos aqui um exercício de modelagem da distribuição de três espécies fictícias, duas de ampla distribuição nos biomas Caatinga e Mata Atlântica, e uma de distribuição restrita às Florestas de Araucárias. Para fins de discussão da importância do uso de variáveis hidrológicas que descrevam os sítios reprodutivos de anuros em exercícios preditivos, apresentamos e discutimos um modelo de uma espécie real de uma espécie de ampla distribuição no Brasil (prioritariamente cerrado), *Eupemphix nattereri* (Leiuperidae).

Métodos

Buscando aproximar os efeitos das mudanças climáticas sobre os diferentes biomas brasileiros, estabelecemos áreas de distribuição para três espécies fictícias endêmicas da Caatinga, Mata Atlântica, e das Florestas de Araucária. Dentro destas áreas de distribuição fictícias, aleatorizamos pontos que representam áreas de ocorrência destas espécies, de forma a obter densidade semelhante de pontos (Caatinga 441 pontos, Mata Atlântica = 713 pontos e Floresta de Araucária = 316 pontos). Procedimento equivalente foi realizado com base na área de distribuição de *Eupemphix nattereri*, tendo como base a área de distribuição da espécie fornecida pela IUCN (disponível em IUCN, 2010).

Para cada ponto gerado foram identificadas suas coordenadas geográficas, e, com base nelas, gerado um modelo de distribuição de cada espécie em MaxEnt (Phillips e col., 2006). O modelo foi criado a partir de 75% dos pontos disponíveis para cada espécie e utilizando oito variáveis ambientais: cobertura anual de nuvens (cld6190_ann.asc), variação da temperatura diurna (durante o ano) (dtr6190_ann.asc), frequência de geadas anuais (frs6190_ann.asc), precipitação anual (pre6190_ann.asc), temperatura média anual (tmn6190_ann.asc), temperatura mínima anual (tmp6190_ann.asc), temperatura máxima anual (tmx6190_ann.asc) e pressão de vapor anual (vap6190_ann.asc; (disponíveis em www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent). Para testar o modelo, utilizamos 25% dos pontos gerados por espécie.

Cada mapa resultante da análise indica a distribuição potencial da espécie-alvo dadas as condições climáticas atuais, identificando as regiões de maior probabilidade de ocorrência das espécies. Estas áreas apresentam características ambientais que se assemelham às das localidades

de ocorrência das espécies fictícias. Fundamentados num cenário de aumento da temperatura global para o ano de 2100 (aumento de 3°C na temperatura mínima anual e 4°C na temperatura máxima anual), projetamos então a distribuição das espécies-alvo com base nesses novos valores.

Para cada espécie identificamos as variáveis ambientais de maior contribuição para o modelo de distribuição. Para avaliar o poder preditivo de cada modelo geramos valores de AUC (*area under the curve*: área sob a curva). O valor de AUC varia de 0 a 1, onde 0 indica que o desempenho do modelo é pior do que o de um modelo aleatório e 1 indica que o desempenho do modelo é perfeito.

Resultados e Discussão

Como pode o aquecimento global afetar a distribuição de anfíbios amplamente distribuídos em diferentes biomas brasileiros?

Todos os modelos de distribuição tiveram AUC maior do que 0,8, indicando bom desempenho (Caatinga = 0,97, Mata Atlântica = 0,97, Floresta de Araucária = 0,99, *Eupemphix nattereri* = 0,88). As duas variáveis que mais contribuíram para a geração dos modelos incluíram uma medida indireta de umidade e uma medida de temperatura – um dado não surpreendente dada a intrínseca relação desses biomas com o clima local, bem como dos anfíbios com estas variáveis (Wells, 2007). São elas: precipitação e temperatura média anual (Caatinga; 49,9 e 37,5%; Floresta de Araucária 18,3 e 31,9%, respectivamente), e temperatura média anual e precipitação (Mata Atlântica; 40,9 e 21,3%, respectivamente). Para *Eupemphix nattereri*, as variáveis mais importantes para a construção do modelo

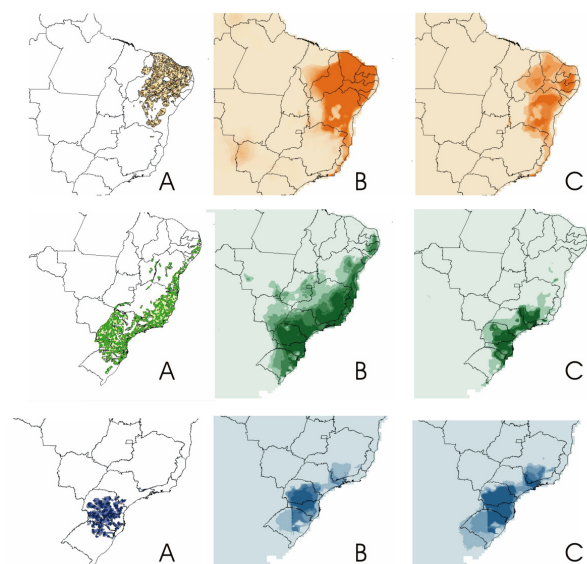


Figura 1. Área de distribuição de três espécies fictícias (de cima para baixo: Caatinga, Mata Atlântica e Floresta de Araucárias). Distribuição dos pontos gerados aleatoriamente e área selecionada para a aleatorização dos pontos (A). Modelo de distribuição gerado com as condições ambientais atuais (B). Modelo de distribuição gerado com o cenário de previsão de aumento da temperatura (C). Em B e C as cores mais escuras representam maior probabilidade de ocorrência da espécie.

foram a temperatura média anual e a pressão de vapor de água (36,4 e 29%, respectivamente).

Os modelos sugerem uma redução na distribuição das espécies da Mata Atlântica e da Caatinga (Figura 1). Para espécies da Mata Atlântica, o modelo sugere uma retração para as regiões de clima mais ameno no sudeste e sul do Brasil; na Caatinga, é prevista menor probabilidade de ocorrência nas áreas do interior, e persistência de populações ao longo da costa. Por outro lado, os modelos sugerem um aumento na distribuição da espécie das Florestas de Araucárias, expandindo seu limite prioritariamente para a região sul (Figura 1).

Para *Eupemphix nattereri*, o modelo de distribuição prevê que as variáveis ambientais mais importantes são a temperatura média anual e a pressão de vapor anual. Esta espécie ocupa regiões (Cerrado prioritariamente) em que a umidade do ar é inconstante. Da mesma forma que espécies de altitude, as espécies do Cerrado estão sujeitas a situações de grande variação da temperatura diária, sendo que a variação diária pode ser a mesma que a variação da temperatura média anual. A importância relativa da temperatura média anual no modelo de distribuição dessa espécie sugere que uma limitação fisiológica impeça a ocupação de áreas com temperatura médias muito baixas ou muito altas: apesar da espécie ser capaz de enfrentar com sucesso grande variação de temperatura diariamente, é possível que não esteja adaptada a suportar extremos de temperatura por períodos prolongados.

Anfíbios que vivem em áreas quentes ou desérticas são mais resistentes a elevação da temperatura do que espécies de ambientes frios e florestados?

Os modelos da Fig.1. sugerem que o aquecimento global afetará não somente espécies atualmente distribuídas em climas amenos (e.g. áreas costeiras e mata de araucária), mas também espécies endêmicas da Caatinga. Estudos fisiológicos indicam que não existe relação direta entre temperatura média da área de ocorrência de uma espécie e seu grau de tolerância a incrementos adicionais de temperatura (Navas e col. 2008). O fator relevante na definição da resposta biológica ao aquecimento, nesse caso, é a relação entre o limite de tolerância térmica de cada espécie e a amplitude do aquecimento esperado para o futuro; anfíbios de áreas abertas e quentes podem já estar vivendo perto do seu limite térmico máximo (Katzenberger e col. 2011). Por exemplo, um animal vivendo sob temperatura anual média de 35°C pode não sobreviver a 39°C. Por outro lado, outro vivendo sob temperatura anual média de 25°C provavelmente não será afetado da mesma forma caso a temperatura local alcance 29°C (Navas e col., 2008). Nos dois casos o incremento da temperatura é de 4 °C (como previsto para 2100, assumindo um cenário mais pessimista), mas as consequências serão mais graves para aquelas espécies que já vivem sob condições próximas ao seu limite térmico máximo. Naturalmente, o uso de micro-habitats como refúgios climáticos (via enterramento, uso preferencial áreas sombreadas para forrageamento, maior número de horas no ambiente aquático, etc) pode

auxiliar espécies locais a tolerar maiores temperaturas médias do ar. Todavia, pouco se sabe a respeito do papel relativo das limitações fisiológicas e modificações comportamentais na magnitude das consequências biológicas do aquecimento global.

Impactos do aquecimento global sobre qualidade de microhabitats: implicações para conservação.

Apesar das mudanças climáticas globais serem frequentemente discutidas a nível macro-ecológico, o aquecimento global afeta de forma direta os microambientes utilizados pelos animais. A maior parte dos ambientes aquáticos continentais, por exemplo, é formada por corpos d'água rasos, não excedendo 5 m de profundidade (Dowing e col., 2006). É justamente nestes ambientes que muitos anfíbios anuros depositam seus ovos. Na maioria dos casos, aí se desenvolvem os girinos até a metamorfose.

Ambientes aquáticos de pouca profundidade são altamente susceptíveis à influência das mudanças climáticas. Respostas locais incluem, por exemplo, o aumento da temperatura, da eutrofização, e da turbidez dos corpos d'água (Bicudo e Bicudo, 2008). Isoladamente ou em conjunto, esses efeitos afetam populações de anfíbios (Collins e Crump, 2009). O aumento da eutrofização de poças temporárias, por exemplo, aumenta a disponibilidade de alimento para girinos herbívoros, mas também permite a proliferação de hospedeiros de parasitas, elevando a prevalência parasitária nos corpos d'água (e.g., Blaustein e Johnson 2003).

A espécie *Eupemphix nattereri* se reproduz em lagoas temporárias formadas pelas águas das chuvas. Nestes corpos d'água os casais depositam seus ovos em ninhos de espuma brancos (Figura 2C). Um aumento significativo da temperatura local pode levar a um rápido ressecamento dessas lagoas, ocasionando na morte de girinos e ovos. Adicionalmente, desovas expostas ao solo estarão mais susceptíveis ao ataque de predadores terrestres (Figura 2D-F).

O intuito da discussão acima é demonstrar que mesmo quando um modelo climático de distribuição preveja a permanência local de uma espécie face aos cenários de emissão futura de carbono (e.g. Figura 2A e 2B), esta pode vir a sofrer efeitos diretos do clima sobre os microhabitats utilizados em seu ciclo de vida. Estudos preditivos da distribuição da biodiversidade de anfíbios em resposta ao aquecimento global têm muito a ganhar com a incorporação de variáveis hidrológicas em fina escala em conjunção com dados de história natural. Estudos experimentais estão sendo realizados nestas linhas, mas pouco foi publicado.

Interações entre clima e patógenos: incorporando mais complexidade a estudos preditivos.

Além de afetar populações de anfíbios diretamente, tal como ilustrado acima, mudanças climáticas podem interferir na virulência de patógenos e ação de parasitas. Sabe-se, por exemplo, que muitas espécies de anfíbios são susceptíveis a uma micose causada pelo fungo quitrídio *Batrachochytrium dendrobatidis* (Longcore e col. 1999). Essa doença, também conhecida como quitridiomiose, tem sido associada a declínios populacionais em várias regiões do mundo (e.g. Lips e col, 2006). Inventários

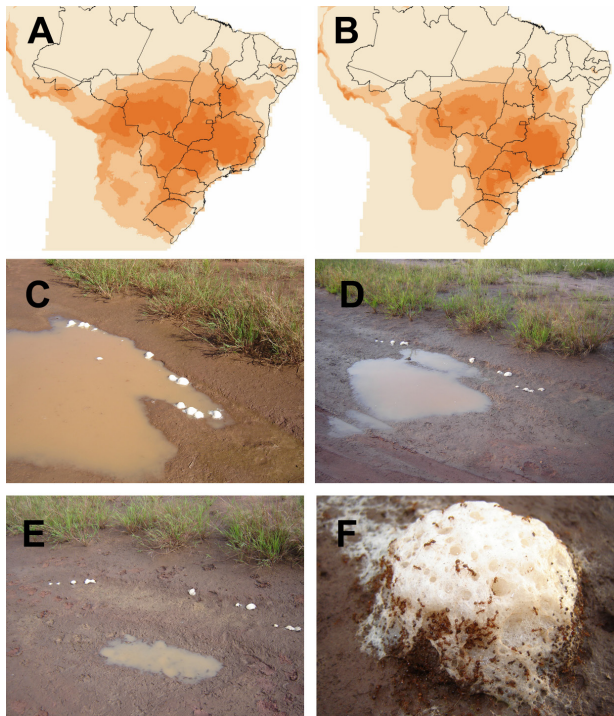


Figura 2. Distribuição geográfica de *Eupemphix nattereri* atual (A) e com distribuição potencial futura considerando aumento da temperatura global (B). Quanto mais escuro, maior a probabilidade de ocorrência da espécie. Lagoa temporária onde foram postas 12 desovas de *E. nattereri* (C), a qual secou em dois dias (D e E), expondo os ovos (e embriões) à dissecação e predação por formigas (*Solenopsis* sp.; F), larvas de mosca e aves.

demonstram que esse fungo vem infectando anfíbios da Mata Atlântica ao menos desde os anos oitenta (Toledo e col., 2006, Carnaval e col., 2006).

Estudos recentes sugerem uma potencial interação entre fungo e clima (Pounds e col., 2006) – particularmente dado o que se sabe a respeito da temperatura ideal de cultivo do fungo sob condições de laboratório – que merece estudos adicionais. A hipótese de Pounds e col. (2006) é a de que mudanças climáticas globais estejam fornecendo ao fungo condições climáticas apropriadas para sua sobrevivência nos mais variados ambientes. Ademais, mudanças climáticas globais podem, num futuro próximo, tornar propícias para sua disseminação áreas que hoje não possuem as condições ideais para a sobrevivência do fungo (Rödder e col., 2010).

É importante ressaltar, todavia, que esta não é a única possível interação entre o clima e doenças como a quitridiomycose. Imunodepressão é frequentemente associada a estresse climático, sendo assim possível que o aquecimento global impacte negativamente o sistema imune de muitas espécies de anfíbios, deixando-os mais suscetíveis às infecções (Raffel, 2006).

Discussão geral

Antecipa-se que o aquecimento global e os extremos climáticos antecipados para os próximos 80 anos afete populações de anfíbios a nível global (Pounds e col., 2007). Ferramentas como a modelagem do nicho climático su-

gerem que muitas espécies de anuros brasileiros serão afetadas em nível macro-ecológico, tendo suas distribuições reduzidas ou expandidas em resposta às alterações do clima (presente estudo, mas ver também Haddad e col., 2008 para sugestões de espécies e gêneros de risco na Mata Atlântica). Adicionalmente, espécies locais poderão sofrer impactos em uma escala menor, via alteração na oferta de sítios reprodutivos e micro-hábitats e susceptibilidade a doenças (Assis, 2012). A perda da diversidade de anfíbios é alarmante, podendo trazer consequências graves à saúde e à integridade dos ecossistemas brasileiros e mundiais (ver Toledo e col., 2010). Estudos preditivos e experimentais são fundamentais para definirmos estratégias eficazes para a conservação das espécies e biomas brasileiros.

Agradecimentos

Carlos A. Navas, Agustín Camacho, Pedro Ribeiro e Rodrigo Pavão pelo convite para participação deste volume especial. À FAPESP por auxílio (proc. no. 2008/50325-5) e bolsa de estudos (proc. no. 2008/52847-9) concedidos à LFT. À CAPES pela bolsa de estudos concedida a TRNC. Ao National Science Foundation (DEB 1035184) pelo apoio a ACC.

Contribuição dos autores

Concepção: todos os autores. Delineamento dos modelos: T. R. N. Costa. Dados de campo: L. F. Toledo. Análise dos resultados e redação do artigo: todos os autores.

Referências

- Araújo, M. B., Thuiller, W. e Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33, 1712–1728.
- Assis, A. B. (2012). Microbiota, secreções e micro clima: Consequências para os anfíbios. *Revista da Biologia* 8, 45–48.
- Bicudo, C. E. M. e Bicudo, D. C. (2008). Mudanças climáticas globais: efeitos sobre as águas continentais superficiais. In: Marcos S. Buckeridge. (Org.). *Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil*. 1 ed. São Carlos SP: Rima Editora.
- Blaustein, A. R. e Johnson, P. T. J. (2003). The complexity of deformed amphibians. *Front. Ecol. Environ.* 1(2), 87–94.
- Braga, L. G. T. e Lima, S. L. (2001). Influence of Environmental Temperature on the Bullfrog Performance, *Rana catesbeiana* (Shaw, 1802) in the Growing Phase. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa 30(6).
- Carnaval A. C. O. Q., Puschendorf R., Peixoto O. L., Verdade V., Rodrigues M. T. (2006). Amphibian chytrid fungus widely distributed in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Ecohealth* 3, 41–48.
- Cassemiro, F. A. S., Gouveia, S. F. e Diniz-Filho, J. A. F. (2012). Distribuição de *Rhinella granulosa*: integrando envelopes bioclimáticos e respostas ecofisiológicas. *Revista da Biologia* 8, 38–44.
- Collins, J. P. e Crump, M. L. (2009). *Extinction in our times: global amphibian decline*. Oxford University Press, New York, NY, USA. 304pp.
- Dowing, J. A., Paire, Y. T., Cole, J. J., Duarte, C. M., Travik, L. J., Striegl, R. G., McDowell, W. H., Kortelainen, P., Carco, N. F., Melack, J. M. e Middelburg, J. J. (2006). The global

- abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography* 51, 2388-2397.
- Giacoma, C., Zugolaro, C. e Beani, L. (1997). The advertisement calls of the green toad (*Bufo viridis*): variability and role in mate choice. *Herpetologica* 53, 454-464.
- Guimarães L. D. e Bastos, R. P. (2003). Vocalizações e interações acústicas em *Hyla raniceps* (Anura Hylidae) durante a atividade reprodutiva. *Iheringia Série Zoologia* 93,149-158
- Grzimek, Bernhard. 2003 *Grzimek's Animal Life Encyclopedia*, 2nd edition. Volume 6, Amphibians, edited by Michael Hutchins, William E. Duellman, and Neil Schlager. Farmington Hills, MI: Gale Group
- Haddad, C. F. B., Giovanelli, J. G. R. e Alexandrino, J. (2008). O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. In: Marcos S. Buckeridge. (Org.) *Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil*. 1 ed. São Carlos SP: Rima Editora. p. 195-206.
- Hillman, S., Whithers, P. C., Drewes, R. C. e Hillyard, S. D. (2009). *Ecological and environmental physiology of amphibians*. New York: Oxford University Press, 469 p.
- Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C., Angulo, A. e col. (mais de 100 autores). (2010). The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science* 330 (6010), 1503-1509.
- IPCC 2007- Anex I - Contribution of Working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change. IPCC Geneve Switzerland.
- IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 27 October 2010.
- Katzenberger, M., Tejado, M., Duarte, H., Marangoni, F. e Beltrán, J. F. (2012). Tolerância e sensibilidade térmica em anfíbios. *Revista da Biologia* 8, 25-32.
- Kruhoffer, M., Glass, M. L., Abe, A. S. e Johansen, K. (1987) Control of breathing in an amphibian *Bufo paracnemis*: effects of temperature and hypoxia *Respiration Physiology* 69 (2), 267-275.
- Lingnau, R. e Bastos R. (2007). Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. *Journal of Natural History* 41(17-20), 1227-1235.
- Lips, K. R., Brem, F., Brenes, R., Reeve, J. D., Alford, R. A., Voyles, J., Carey, C., Livo, Lauren, Pessier, A. P., Collins, J. P. (2006). Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 103, 3165-3170.
- Longcore, J. E., Pessier, A. P. e Nichols, D. K. (1999). *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia*, 91, 219-227.
- Navas, C. A. e Bevier C. R. (2001). Thermal dependency of calling performance in the eurythermic frog *Colostetus subpunctatus*. *Herpetologica* 57, 384-395.
- Navas, C. A., Gomes, F. R. e Carvalho, J. E. (2008). Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: Integration and evolutionary implications. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 151, 344-362.
- Newman, R. A. (1998). Ecological constraints on amphibian metamorphosis: interactions of temperature and larval density with responses to changing food level. *Oecologia* 115 (1-2), 9-16.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259.
- Pounds, J. A. (2001). Climate and amphibian declines. *Nature* 410, 639-640.
- Pounds, J. A., Bustamante, M. R., Coloma, L. A., Consuegra, J. A., Fogden, M. P. L., Foster, P. N., La Marca, E., Masters, K. L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S. A., Sánchez-Azofeifa, G. A., Still, C. J. e Young, B. E. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439, 161-167.
- Pounds A., Carnaval A.C.O.Q., Corn S. (2007) *Climate Change, Biodiversity Loss, and Amphibian Declines*. In Gascon C., Collins J.P., Moore R.D., Church D.R., McKay J.E., Mendelson J.R. III (eds). *Amphibian Conservation Action Plan: IUCN/SSC Amphibian Specialist Group*. Glands, Cambridge.
- Raffel, T. R., Rohr, J. R., Kiesecker, J. M. e Hudson, P. J. (2006) Negative effects of changing temperature on amphibian immunity under field conditions. *Functional Ecology* 20, 819-828.
- Rödger, D., Kielgast, J. e Lötters, S. (2010). Future potential distribution of the emerging amphibian chytrid fungus under anthropogenic climate change *Diseases of Aquatic Organisms* 92: 201-207.
- Sullivan, B. K. e Malmos, K. B. (1994). Call variation in the Colorado river toad (*Bufo alvarius*): behavioral and phylogenetic implications. *Herpetologica* 50, 146-156.
- Toledo, L. F., Assis, F. B., Araújo, O. G. S., Giasson, L. O. M. e Haddad, C. F. B. (2006). The occurrence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Brazil and the inclusion of 17 new cases of infection. *South American Journal of Herpetology* 1(3), 185-191.
- Toledo, L. F., Carvalho-e-Silva, S. P., Sánchez, C., Almeida, M. A. e Haddad, C. F. B. (2010). A revisão do Código Florestal Brasileiro: impactos negativos para a conservação dos anfíbios. *Biota Neotropica*, 10(4): 1-4.
- Wells, K. D. (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. The University of Chicago Press, Chicago. 1148 p.